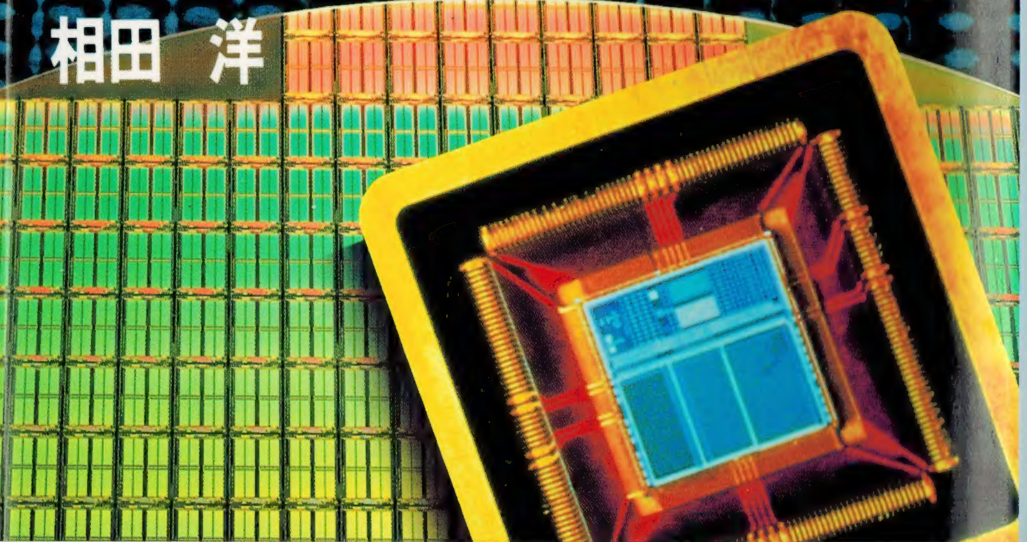
NHK

電子立国 日本の自叙伝 上

相田 洋



8ミリ角の半導体をめぐる
男たちのドラマ!

NHKスペシャルで大反響を呼んだ番組の出版化

NHK
電子立国 日本の自叙伝 上

半導体に憑かれた男たち

日本放送出版協会

半導体王国・日本は、いかにして生まれ
築きあげられたのだろうか。
本書は、半導体文明の発達を担った人たち――
いわば「石に憑かれた男たち」を日米に追って
半導体産業の歴史的全貌を描いた
迫真のドキュメンタリーである。

NHK 電子立国 日本の自叙伝 上

相田 洋

日本放送出版協会

まえがき

その日、私たちはある技術者にインタビューを行うために伊丹市にある三菱電機超ＬＳＩ研究所を訪れた。照明とカメラのセッティングに三〇分、インタビューに一時間、長くても二時間ですむ仕事であった。ところが、意外な事態が待っていた。工場に着くと大阪弁の広報氏が、「なんや、うちの所長が企画のストーリーを聞きたい言うてまんねん」と、私たちを会議室に案内したのである。電話では充分に伝えてあるのにと思いながら彼に従った。ほどなく、三人の幹部の皆さんが部屋に入ってこられた。彼らの固い表情に、「何か話が違ってきたのかな」と、一瞬悪い予感が脳裏をかすめた。案の定、あいさつもそこそこに所長が、「企画のストーリーをお聞かせ願いましょうか」と、冷やかに切り出した。

私は企画の趣旨とシリーズの構想を説明しはじめた。現代文明は半導体に支えられていること。しかも、エレクトロニクス商品は自動車に次ぐ外貨の稼ぎ手であり、それらには大量の半導体素子が使われていること。だから、私たちは現代の半導体産業がいかに大きな広がりを持ち、それらがいかなる歴史の上に築き上げられてきたかを描きたい。このように私は正面の三人を正視しながら説いたのだが、所長をはじめ二人の幹部の方はけっしてこちらを向こうとはせず、話もほとんど聞いていない様子であった。

不愉快だが説明をやめて帰るわけにもいかず、「これらの半導体技術の出発点となったのは一九四七

年、ベル研究所で点接触型トランジスタが発明されたときからでした。そんなわけで第一部は『トランジスタの誕生』、第二部は『集積回路の誕生』、第三部は『マイクロプロセッサーの誕生』、最終回は『周辺技術』といった四本のシリーズにしたいと考えています」と順次説明していった。

聞き終わった所長が「なーんだ、そんなくだらん企画だったんですか、もっとましな番組かと思った」と、ぶ然とした表情で言い放った。それに追従するように二人の方々が、口々に「そもそも企画の現代的な意義はどこにあるのですかねえ」「これは意味不明な企画ですねえ」。まるで、こんなくだらない企画に大三菱電機が付き合う必要などまったくない、と言わんばかりの反応であった。

それにしても、これはまぎれもなく私たちがいつもやっている企画会議だ。「企画の現代的意義は何か」とか、「今なぜそれをやらなければいけないのか」は、提案会議の常とう句であり慣用句であった。LSI研究所でも、きっと「今なぜその研究をしなければいけないのかね」なんて企画者を追及しているに違いない。よその会社で提案会議とは恐れいるが、こうなりゃ、いつものように反撃に転ずるしかない。ここで引き下がったら全スタッフの前で醜態を見せることになる。カメラマン、照明、録音、若い二人のディレクターが、かたずを飲んで成り行きを見守っていた。

私は本音をしゃべることにした。「この直前に作りましたのが、日本の自動車産業についてのシリーズでした。今度のシリーズはその姉妹編と考えているのですが、そのときも感じたことなんですけど」と次のように続けたのである。

世界の人たちは日本人を模倣の人種だと言う。確かに革命的な技術はそのほとんどがアメリカで生み出され、日本がそれを必死で学んで今日に至っている。しかし、棚ぼた式に現在の地位を手にしたのではない。労せずしてそれらを手にできるのであれば、もっと多くの国が日本と同じ位置に達して

いいはずである。おそらく日本人の資質、日本社会の気風、日本文化の特質などが深く影響しているに違いない。また、なぜ日本人は文明を変えるほどの技術革新を生み出すことができないのか。これもまた日本人の資質、社会の気風、文化の特質と、無縁ではあるまい。このシリーズは驚異の現代半導体産業がいかにして生まれ、築き上げられてきたか、その全貌を日米双方の取材によって過不足なく描くのが目的だが、同時に産業史の深層に横たわる日米両国の国民的資質、社会的特質にも目を向けていきたい。

また、こんな思いもある。日本人は安くてよい品質の商品を世界に送り出そうと筆舌に尽くしがたい努力を続けてきた。そしてやっとそれが実現したとき、今度は世界から猛烈に叩かれている。日本人としては、まことに理不尽な思いがしてならない。その一方で、日本には半導体技術のほとんどがアメリカで生まれたことすら知らず、半導体王国日本が天から降ってわいたかのごとく思っている人たちも大勢いる。本当は現在の日本がどうやって築かれたのか、その真相を『日本の自叙伝』として内外に伝えたい。

しかもそれができるチャンスは、もう時間的には限界に来ているのではないだろうか。トランジスタ発明者の一人であるウィリアム・ショックレーは前年に他界し、ジョン・バーディーンも高齢であり、日本のパイオニアたちが第一線を離れてからすでに久しい。事実この番組の取材中にアメリカ半導体産業の父と言われたロバート・ノイスが世を去り、半年後にはジョン・バーディーンも亡くなった。

提案説明（？）をし終わったとき、三人の皆さんは私の口上に耳を傾けてくれていた。そこで私はこう問い返したのである。「これでも皆さんは私たちの企画には何の意義もないとお思いでしょうか」

しばし間があって、所長がおもむろに口を開いた。「趣旨はわかりました。ただこれまで多くのマスコミの皆さんが来られて取材をして行かれましたが、こちらが協力して差し上げた苦労に比べて、報道の内容があまりに浅薄で興味本位でした。そんなわけで、今度はもっと徹底的にご趣旨をうかがってからにしようと考えたものですから」と説明され、続けて「もしそちらが本気で半導体産業と取り組むつもりがおありなら、当方も腹をすえて協力するつもりです。三菱西条工場の全貌を公開してもよいと思っているんですがね」

今度はこちらが驚いた。実は現代の半導体工場を取材させてほしいと各社に取材のお願いをしたが、どの会社からもほとんど門前ばらいに近い状態で断られていた。私は即刻『新・石器時代～驚異の半導体産業～』の増設を決意した。ただの珪石がいかにして半導体素子になっていくのか。現代の最先端技術を余すところなく伝えたあと、それらの技術一つ一つがだれの手によって生み出され、日本はそれをどう学んだかを伝えよう。これで過去の出来事を常に現代と深く結びつけながら、技術産業史を語り続けることができるに違いないと考えた。こうして、現代の半導体産業を鮮烈な映像で伝えることができ、その結果シリーズ全体がより立体的な輪郭をもつことができたのである。あの提案会議がなかったら、私たちのシリーズはもっと底の浅いものになっていたかもしれない。

さて、私が半導体産業に取り組むことになった経緯は上述のエピソードの中で言い尽くしたが、シリーズの企画当初、私を最初に半導体の世界に誘ってくれたのは、中川靖造著『日本の半導体開発』であった。そこには日本の技術者たちの動静が生き生きと綴られていた。また、当時NHKには半導体産業について違った角度から注目していた人たちがいた。スタッフの一人である行成卓巳ディレクターは産業廃棄物を追跡しているうちにハイテク産業に行き当たり、やがて半導体産業に深く興味を

持つようになり、その全貌を伝える企画を立てていた。もう一人、当シリーズの撮影者ではないが当時名古屋局に在籍していた玉造仁一カメラマンは、別の番組取材で驚異の半導体産業に接し、大型シリーズを提案していた。それらの企画が合流してこのシリーズが出発したのであるが、前述の通り取材途中で企画がどんどん拡大していった。ついにシリーズは六本になり、時間も一本を九〇分に拡張しなければならなかった。

ところで私は、テレビの番組屋というのは大変幸せな職業だと思っている。たとえば私たちが一つの番組をつくると、大学四年間にしてきたいい加減な勉強より、はるかに大量の知識を吸収することができる。しかも、ブラウン管の向こう側に伝えなければならないために、私たちは義務的に受ける講義よりずっと真剣にならざるをえない。自分が咀嚼（そしゃく）できなければ伝えることができないからである。しかも私たちが行う取材という名の勉強は、十年一日のごとく使い続ける先生の講義録からではなく、常に歴史と現代が息づいている事柄から学ぶのである。

このシリーズでも日米一〇〇人に及ぶ関係者に長時間インタビューをさせていただき、実物や写真や特許や設計図など膨大な量の一次資料を収集し、複製をつくり、表現模型を工夫した。それらはずぶの素人が半導体産業と足かけ三年にわたって格闘し、何とか形にしようと模索した表現手段のいろいろであった。それらを駆使してテレビ番組とはまた違った伝達ができないだろうか。何よりも登場人物の肉声を大切にし、開発の現場から中継するがごとく臨場感に富み、集めた材料を料理番組のように親切に表現し、テレビ番組以上に中身の濃い本をつくってみたいと考えたのである。そこにテレビ屋が本を書く理由があった。それがどこまで実現できたか心もとないが、渾身の力をこめて書いたつもりである。

この本は、専門家があり余る知識を駆使して書いた本ではない。まったく半導体と縁もゆかりもなかった素人が、自分の頭の悪さにへきえきしながら七転八倒しつつ半導体技術の片鱗に触れ、産業の全貌をかいま見ることができた「素人の体験記」である。この記録を読むことで、私たちのたどった道を読者も追体験していただければ幸いだと思っている。

なお放送はシリーズを前期と後期に分け、前期は第一部「新・石器時代～驚異の半導体産業～」、第二部「トランジスタの誕生」、第三部「石になった電気回路」の三番組を放送した。後期には第四部「電卓戦争」、第五部「八ミリ角のコンピューター」、最終回「ミクロン世界の日米戦争」を予定している。この本も同じように展開していくつもりである。本は上中下の三巻で構成し、上巻では放送の第一部と第二部、中巻では第三部、下巻に第四部と第五部と最終回をそれぞれ詳述することにしている。

一九九一年七月一一日

相田　洋

NHK

電子立国 日本の自叙伝[上]

目次

第1章 新・石器時代 13

身の回りから宇宙まで 14
黒いムカデの正体 17
一チップに数百万個のトランジスタ 21
採掘現場はフィヨルドの海岸 24
純度九九・九九九九九九九九九パーセント 28
昔は銀山、今はシリコン単結晶工場 32
ウエハーは鏡のような薄い円盤 36
三菱電機西条工場 38
「魔法のチップ」は人間嫌い 45
無人ロボットの世界 48
一〇〇万個から一個を探す 54
ロボットの仕事に人間が挑戦 59
なんと精密で多様な技術が…… 65

第2章 トランジスタの誕生 69

グラハム・ベルの夢 70
真空管の動作の仕組み 73
電話網は大陸を横断したが…… 77
電気を起こすシリコン棒 79
導体、不導体、半導体 81
ショックレーがグループリーダーに 84
バーディーン博士の証言 86
点接触型トランジスタの発明 88
画期的な実験の再現 92
技術関係者には大きな衝撃 95

第3章 敗戦日本のパイオニアたち 101

「材料さえあれば」の意気込み 102
だれも原理を知らずに勉強会 105
首相官邸の隣に残る廃墟 109
毎週土曜は「馬小屋」で議論 113
会社は猛反対、でもやってみたい 116
情報源はもっぱら米民間情報局 119
天井から雨が漏る実験室 124
黄鉄鉱でダイオード研究 128
鳩山トランジスタの製作 132
三か月間、毎日が失敗の連続 136
つっ返されたPN接合論文 141
バケツと水で試作に成功！ 144
日本初のゲルマニウム回収 150
「経済と技術で勝つ」という熱い思い 158

第4章 接合トランジスタの発明 161

ショックレーの失意と発奮 162
一か月で生まれた革命的理論 165
「PN接合」の考え方 167
三極管とそっくりで、針がない！ 171
世界一流の頭脳が集まる 176
結晶純度を高める新精製法 178
角砂糖を氷砂糖にする 183
異端視された単結晶製造 188
単結晶引き上げ技術の復元 192
ショックレー理論の実現 194
合金型トランジスタの製造工程 200

第5章 模倣は独創の始まり 205

電気試験所に旋風児あり 206
「全工程を完全自作せよ!」 209
炉内にピンクのネオンが灯る 213
炉心温度を一定に保つ工夫 216
汚染物質との果てしない戦い 220
「潜水艦」と呼ばれる研究室 227
四年がかりで高周波発振器を自作 230

第6章 日米の蜜月時代 235

トランジスタ技術の一般公開 236
海賊版が横行した虎の巻 239
日本企業、一斉にアメリカ上陸 242
アメリカは日本を温かく迎えた 247
非公開の秘密会議を傍聴 253
技術提携しないと量産できない 256
契約せずに何でも聞きまくる 260
開発中のノウハウを入手する法 264
ポンチ絵をもとに機械をつくる 267
忘れぬうちにトイレに走る 271

「まずRCAを徹底的に真似よ」 276
ゲルマニウムを切る月光仮面 284
半導体は落ちこぼれの仕事？ 286
「量産の壁」と「無理解の壁」 290
「工場に顕微鏡は無用なり」 295
ゲルマニウム単結晶の量産工場 299
今、ゲルマニウムはアメリカが買う 302

第7章 ポケットラジオへの挑戦 307

トランジスタラジオの大ブーム 308
井深大とトランジスタの出会い 312
東京通信工業のターゲットはラジオ 316
バカが日本からやって来た 320
一年でアメリカに追いつける！ 322
一〇〇個つくって九九個捨てる 325
危機を救った一人の女子従業員 329
「行け行けどんどん」で工場は全滅 335
不良品の山と江崎博士の大発見 338
ロックのリズムに乗って世界企業へ 343

第1章

新·石器時代

身の回りから宇宙まで

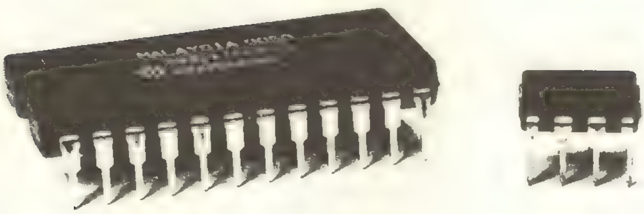
黒いムカデのような小さな部品、半導体素子。産業の米といわれ、現代は日常生活から社会システムまで多量の半導体素子を使うことで成り立っている。テレビ、ワープロ、炊飯器、電話、ファックス、コンピューター、軍事、宇宙に産業用ロボット、いずれも心臓部は黒いムカデの塊である。

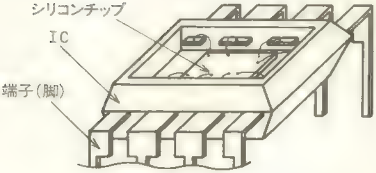
日本が海外に輸出する電気製品の総額は約一〇兆五〇〇〇億円、自動車輸出に次ぐ稼ぎ頭である。これらエレクトロニクス製品のすべてに多量の「半導体素子・超LSI」が使われており、日本が平成元年に生産した半導体素子は、トランジスタ単体やダイオードも含めれば約六〇〇〇億個。これは、全世界の生産量の半分を超える量である。

図1は『半導体年鑑』（プレスジャーナル発行、一九八九年版）に掲載されている企業会社に電話をかけて、工場所在地をピンポイントしたものである。取材と図版制作に、四人がかりで一〇日もかかった苦心作である。半導体素子を製造している工場が全国に約二五〇。それらの工場に材料や技術を供給する工場が二五〇〇。これ

図1　日本半導体産業地図

図2　半導体素子の構造



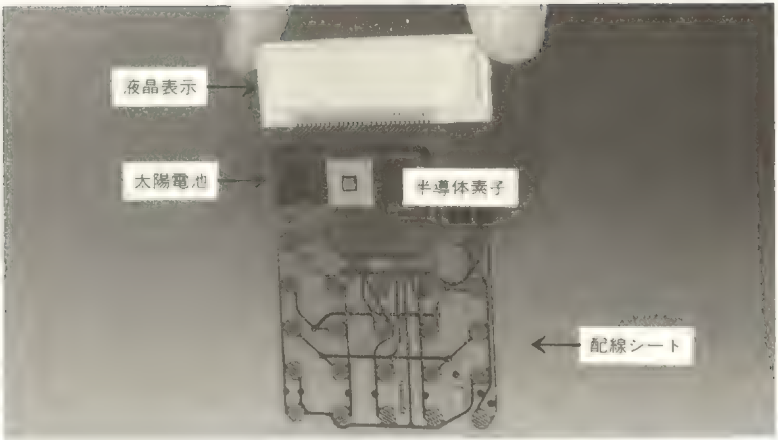


ごく簡単な回路構成のＩＣは、写真右の脚８本のものである。このＩＣの中をのぞくと、図のようにシリコンチップに金線がつながれ、各脚に配線されている

だけでも日本列島は相当黒くなっているが、もしこれに半導体を使う電気メーカーも網羅して工場の位置を書き込むと、おそらく地図は真っ黒になるに違いない。このように、いまや日本列島は半導体列島でもある。

半導体という言葉には二つの意味があるようだ。電気的な性質を表す物質としての半導体と、日常生活で使う一般普通名詞としての半導体である。前者の場合は「電気を通す導体」と「電気を通さない不・導体」の中間に位置する「半・導体」。導体は主に金属であり、不・導体はプラスチックなどさまざまな絶縁物である。金属と絶縁物との中間に位置する半・導体は条件次第で電気を通したり通さなかったりする物質で、具体的にはゲルマニウムやシリコン、あるいは方鉛鉱、黄鉄鉱などを指す。特に現代では、物質としての半導体と言えば、ほとんどの場合シリコンのことである。

私たちが日常生活で普通名詞として使う半導



現代の電卓の中身はただのプラスチックシート。そこには、キーをつなぐ配線とＩＣが見えるだけ

体は、何らかの機能を秘めた小さな装置「半導体素子・超ＬＳＩ」のことである。おおむね親指ほどの大きさで、黒く、硬く、ムカデのように長方形の胴体から金属の脚が何本も出ているが、普通これらを半導体素子と呼び、中には物質としての「半・導体」のシリコンの小片が入っている。これをシリコンチップと呼んでいる。(図2)

たとえばデジタル腕時計を分解してみると、中には指先に載るほどの黒い方形の物体が現れる。よく見ると小粒ながらムカデのように脚が生えている。高価な炊飯器や電子レンジを分解するわけにはいかないので、安物の電卓を分解してみよう。今ではどの家庭にも一個や二個は不要になった電卓が転がっているに違いない。あるいは故障して使えなくなったテレビのリモコンでもいい。電卓は分解すると写真のように一枚のプラスチックシートになる。透明なシートの上部に装着された白い方形のチップが半導体素子である。これが電卓の頭脳である。

こうして、黒いムカデ状の半導体素子は大小多少

の違いはあっても、私たちの日用電気製品の中に多量に使われている。身につけるものから挙げると、腕時計、電子手帳、ポケットラジオ。職場の周囲に目を向けると、コードレス電話、ファックス、コピー機械、テレビ、ビデオ、スチルカメラ。現代のカメラには精緻な半導体が無数に使われ、ワープロやパソコンは文字通り黒いムカデの塊である。家庭生活でも炊飯器、電気洗濯機、電子レンジ、照明器、風呂釜、給湯設備、温噴水つきトイレ、暖冷房エアコンなど、最近の家電製品には必ず黒いムカデが使われている。

外に出ても私たちは半導体に囲まれている。自動車のエンジン制御は今ではほとんど黒いムカデの手にゆだねられているし、地下鉄が放熱を抑えながら走行できるのも、電力用半導体が普及したおかげである。また、産業界に浸透している多様な産業用ロボットにも多量の半導体素子が使われている。社会システムに目を向けてみよう。新幹線の運行を支配する運行システム、銀行のオンラインシステム、テレビ放送網、電話通信網、宇宙衛星とその制御システム、膨大な軍事用兵器とその制御運用システム。かくて私たちの生活は、身の回りから宇宙まで膨大な半導体の上に築かれている。

黒いムカデの正体

それでは一体、黒いムカデはどのような働きをするのだろうか。たとえばエアコンの場合について考えてみよう。エアコンは冷却装置と、部屋の温度を感じる温度センサーと、電子時計と、黒いムカデの四つの機能で成り立っている。クーラーを何時から何時まで働かせるか、部屋の温度を何度に維持するかなど、必要な指示を人間が黒いムカデに記憶させる。

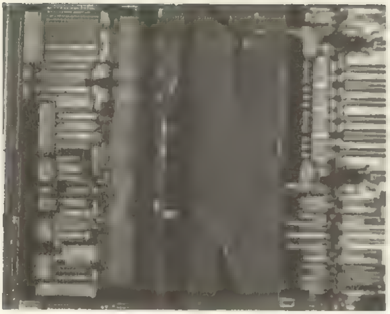
黒いムカデは電子時計の情報と照合しながら、人間が指示した時刻には冷却装置のスイッチを入れる。続いて温度センサーが送ってくる情報と人間が指示した設定温度とを比較照合しながら、冷却装置の回転を制御する。部屋の温度が設定値より高すぎれば装置の回転を上げて冷却を加速するし、低すぎれば回転を落として冷却を加減し、やがて停止時間が来ればスイッチを切る。温度センサーが触覚で、冷却装置が手足で、半導体が頭脳というわけである。

黒いムカデには人間の指示を「記憶」し、他の情報と「照合」し、命令を「実行」する機能が電気回路としてつくり込まれている。もちろん、黒いムカデにはメモリーと呼ばれる「記憶」だけを目的としたものもあれば、マイクロプロセッサーと呼ばれるように「照合」「実行」など、いわゆる制御を目的にしたものもある。クーラーの場合はメモリーとマイクロプロセッサーの両方を使って自動温度調整を行っている。

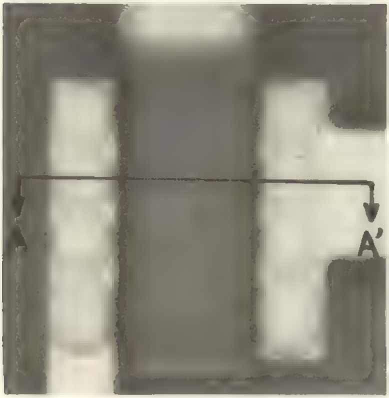
では、そのような電気回路が一体黒いムカデのどこに組み込まれているのだろうか。黒いムカデを日用電気製品の中から取り出すところは先に見た通りである。問題はこのあとである。ムカデの表面を覆う黒い樹脂は非常に硬く、素人のナイフやキリの操作ではひっかき傷をつけるのが関の山である。

実はこの樹脂だけをとってみても語りつくせぬ開発物語が沢山あり、これほど丈夫で気密性の高い樹脂につくり上げるには長い時間が必要であった。だから、素人のちょっとした操作で樹脂をはぐことができるなど、もともとあってはならないことなのである。

テレビの担当者はいつも絵にすることが念頭から離れない。「論より証拠」「百聞は一見にしかず」を可能なかぎり実現したいからである。そこで、黒いムカデの中をなんとかのぞく方法がないものかと聞きまわった。調べてみると、黒いムカデの樹脂をはぎ、中をむき出しにして、シリコンチップに



D　光学顕微鏡で見たチップの表面



E　電子顕微鏡で見たチップの断面（100万個集積されたトランジスタのうちの1個）

A　精密切削装置で樹脂を取り去ったムカデ

B　硝酸液で薄皮が溶けてチップが現れる

C　ムカデから取り出した銀色のチップ

載っている電気回路を分析する専門技術があったのである。リバーシング・エンジニアリングという高度な解読技術であった。

どこの会社も他社の出した半導体素子を常に把握しておく必要がある。だから、他社から新しい半導体素子が発売されると、即座にそれを購入し分解し解読するのである。私たちにとってもそれは願ってもない技術であった。ムカデ状の半導体素子、一メガのDRAMと言われる超LSIをある会社のリバーシング・セクションで解体してもらうことにした。

まず、精密切削装置に試料をセットして表面樹脂を削り取るのだが、中に埋もれているシリコンチップが傷つかないように、薄皮一枚というところで切削を止め、樹脂を残すのである。(写真A)

今度はこれを硝酸液に浸け、薄皮一枚の樹脂を時間をかけて溶かすのである。硝酸液の中に半導体チップを沈めてゆっくり揺らすと、薄皮が小さな小片となってはがれて浮き上がっていく。(写真B)

約一五分もすると樹脂の薄皮が全部とれて、銀色のキラキラしたシリコンの小片が顔を出す。幅四ミリ、長さ一五ミリの長方形である。その周辺から金色の線が生えて、それがムカデの脚(端子)とつながっている。(写真C)

今度はこれを光学顕微鏡で見てみよう。試料台に銀色のシリコンチップを載せる。倍率四〇倍の対物レンズをつけ、試料台のシリコンをゆっくりと電動モーターで動かすと、接眼レンズの中にはまるで工業団地を航空撮影したような風景が流れていく。何十本も並んで走るパイプのような配線や、整然と立ち並ぶビル群がゆっくりと眼下を流れていく。チップの流れわずか一五ミリの距離をレンズが移動して撮った映像は、数キロもヘリコプターで飛び続けたほどにも感じられた。一五ミリの端から端までワンカット三分。この小さなシリコンチップの表面に、なんと膨大な回路が精密につくり込ま

れていることだろう。私たちは顕微鏡が映し出す超微細空間の映像に驚きの声を上げたものである。
光学顕微鏡で見ることのできるのは、シリコンの表面についてだけである（写真D）。ところが、半導体素子につくり込まれている電気回路は何層かの立体構造になっている。いちばん下の層にはさまざまな部品群。その上に絶縁層。その上には最下層の部品群をつなぎ合わせる配線が金属膜として載っている。解読のための分解技術では、さらに数ミクロンずつ表面を削って、立体構造の各層を露出させて回路構成を読み取っていくというのである。あるいはレーザー光線を利用して結晶内部の深さごとの構造を映像にすることもできるそうである。
さて、今度はシリコンの断面を電子顕微鏡でのぞいてみよう。たとえば、ある一点に焦点を合わせると写真Eのような構造が現れる。この横幅は数ミクロン（一〇〇〇分の数ミリ）である。幅四ミリ、長さ一五ミリのシリコン結晶にこのような構造の部品が一〇〇万個も整然とつくり込まれているというのである。それらが互いに金属膜の配線でつながっていて、微小な装置をシリコン結晶の中に形成しているのである。これが現代の超LSIである。

一チップに数百万個のトランジスタ

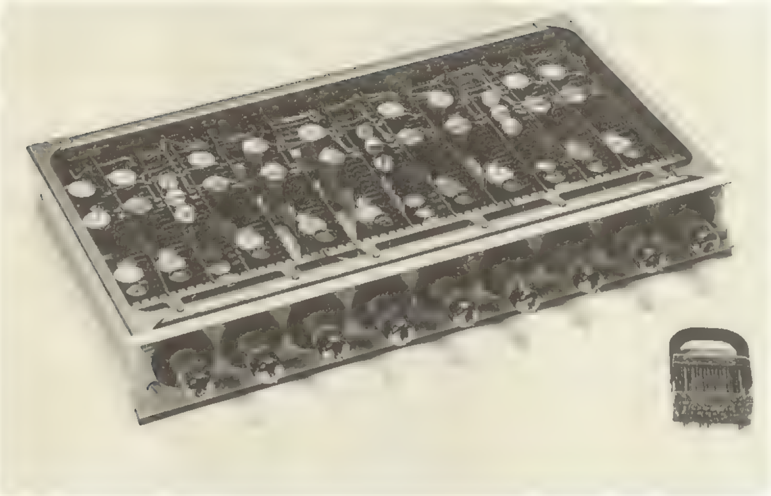
ここで触れておいたほうがよいと思うことがある。それは、真空管とトランジスタとICとLSIと超LSIの関係である。私たちは取材に先立って基礎知識を得ようといろいろな本を買いあさったことがあるが、『トランジスタ早わかり』とか『ICの秘密』とか『超LSI入門』とか、本屋の半導体コーナーには「トランジスタ」「IC」「LSI」という文字が乱舞していた。同じものをトランジ

スタと言ったり、ICと言ったり、LSIと言ったり、いろいろなので、読んで混乱した。特にICと言いながら、触れているのはLSIのことだったりして、目を白黒させた記憶がある。聞いてみれば何も混乱するほどのことではないのだが、門外漢にはちょっとしたことが理解を妨げることがある。

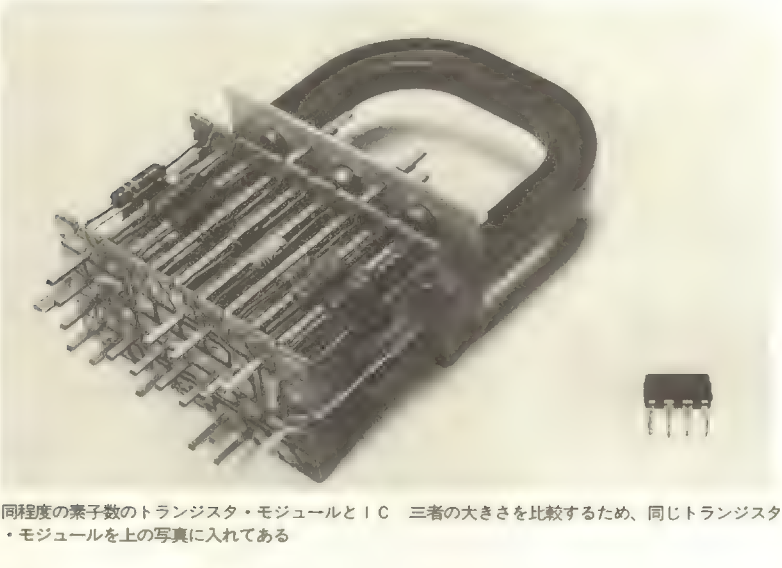
やがて次章で詳しく触れることになるが、トランジスタが登場する前に同じ働きをしたものが真空管である。だから、真空管一本に対してトランジスタ一個が対応する。ところで、電子装置は真空管といろいろな部品を導線でつないだものである。中でも主要な部品が二種類あって、それは電気の流れを弱める働きをする抵抗器と、電気をためる働きをするコンデンサー（蓄電器）である。たとえば写真上は、真空管式コンピューターのあるモジュール（差し替え可能な単位装置）である。箱の下側に並んでいるのが九本の真空管、箱の中には沢山のコンデンサーや抵抗器がつながり、互いが導線で結線されている。部品を導線でつなぎ合わせることを配線という。

同じような装置がトランジスタ時代になると手のひらに載るほど小さくなる。写真下・左がそれである。小さなボタンほどの金属ケースがトランジスタであり、太めの円筒がコンデンサー、細めの円筒が抵抗器。これが裏側ではプリント配線で互いにつながって装置になっている。

これらが全部、トランジスタも、コンデンサーも抵抗器も、それらをつなぐ配線も、すべてシリコンチップの中につくり込まれたものがICである（写真下・右）。Integrated Circuitsの略であり、集積回路のことである。ICが登場したての頃はシリコンに搭載するトランジスタも数個レベルであったが、技術が進化すると数十、数百、数千、数万と激増した。現在は一メガビットの容量を持つICは、一〇〇万個のトランジスタが小さなシリコンチップに組み込まれている。一九九一年からは、四〇〇万個搭載の時代に入り、やがて一六〇〇万個、六四〇〇万個が組み込まれる時代が来る。トラン



真空管コンピューター・モジュール



同程度の素子数のトランジスタ・モジュールとＩＣ　三者の大きさを比較するため、同じトランジスタ・モジュールを上の写真に入れてある

ジスタの搭載数によってＬＳＩ、大規模集積回路（Large Scale Integrated Circuits）とか、ＶＬＳＩ（Very Large Scale Integrated Circuits＝超ＬＳＩ）と呼ぶのである。だから、ＩＣはトランジスタの集合体であるとも言えるし、ＬＳＩはトランジスタの集合体でありＩＣでもある。

では、そうした半導体はいかにして生産され、世界に送り出されているのだろうか。現代の電子社会を支える日本の半導体産業をつぶさに見ていくことにしよう。魔法のチップと言われる半導体物質シリコンは、地球上で炭素に次いで二番目に多く存在する元素である。

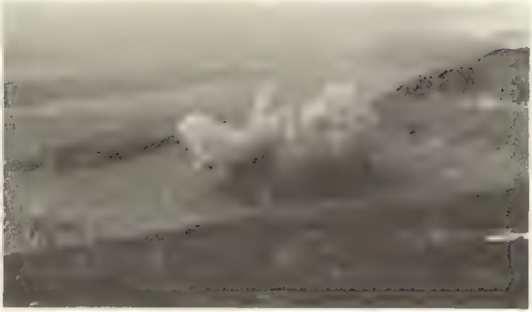
私たちの身の回りに転がっている石、河原や海岸の砂、山肌の岩などいずれも多量のシリコン（珪素）を含んでいる。だから魔法のチップの原料は、理屈の上では地球上どこでも手に入る材料である。だが、現実にはそうは問屋がおろさない。半導体チップにつくり込む電子回路が膨大になるにつれ、シリコンそのものに想像を絶する品質が要求されるようになった。それには原料に高い品質の珪石を使うことであり、そうなると地球上どこにでも存在する珪石というわけにはいかない。現在、半導体製造用珪石の二大供給地は北欧と南米である。

採掘現場はフィヨルドの海岸

ノルウェーの首都オスロから四回飛行機を乗り継いで一〇時間。北緯七〇度三〇分、珪石の採掘現場は北極海に面した断崖の上にあった。露天掘り、推定埋蔵量七〇〇〇万トン。一日平均四〇〇〇トンずつ掘っても、五〇年間は楽にもつ量である。

私たちがこの採掘現場を訪れたのは一〇月下旬、午後二時になるともう夕闇が迫りくるといった季

珪石

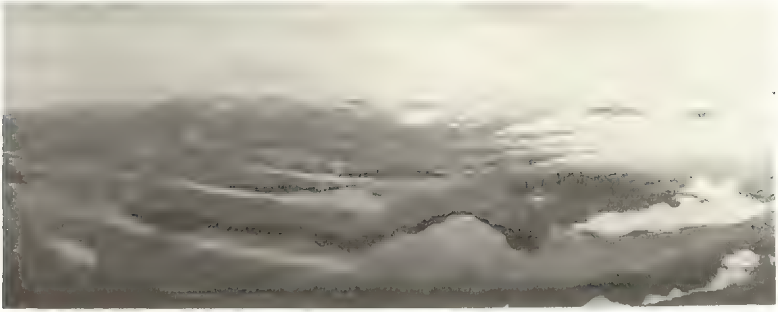


極北の珪石採掘現場、タナ鉱山

節であった。凍てついた空気をつんざくハッパの轟音、続いて薄暮の中を一斉に動き出す巨大なダンプの影。パワーシャベルが乾いた音を立てて岩石をすくい上げ、ダンプの荷台を満たしていく。荷台から今にもこぼれ落ちそうな岩石の山。手に取ってみると、それは薄く青みがかった、ただの石。それが半導体の原料であった。

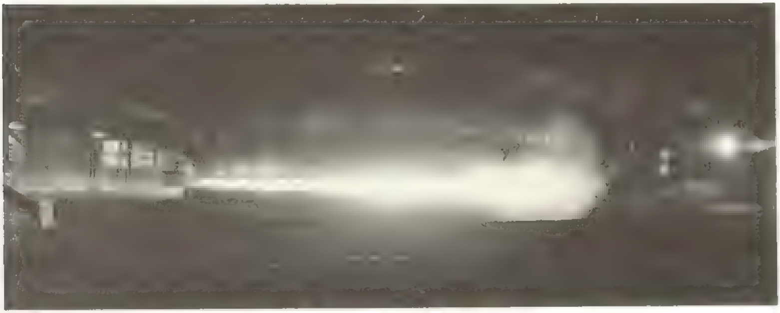
この珪石は、シリコンの含有率が四六パーセント、世界最高水準の石である。この状態で販売値段が一トン当たり二六四〇円。かかる費用のほとんどが人件費だという。この安価なただの石が、今世界を動かしている物質であった。なるほど、現代は「新・石器時代」に違いない。

ダンプカーのタイヤは高さが人間の背丈を超えるほどであった。三台のダンプが珪石を満載しては採掘現場から海岸に下りていく。海岸には珪石の砕石工場が建っていた。山から運んできた岩石をダンプが投入口から落とすと、絶え間なく振動する巨大な砕石機が岩石を粉砕し、ふるいにかけて野球ボールほどの大きさに揃えていく。それをベルトコンベアで海岸の船着き場に運び、荷積みを待つ。やがて、八〇〇〇トン級の鉱石のタンカーが船腹一杯に珪石を飲み込んで、フィヨルドの島々を縫うようにして南へ下っていく。



山腹に階段状に連なる湖

エルケム・ブレメンガー工場



直径20m、高さ40mもある巨大な電気炉

北極海の採掘現場から南西に八五〇キロ、北海をはさんでイギリスの対岸に位置するノルウェーのブレメンガー地方。小さな山並みの山腹には大小三〇もの湖が点在し、年間雨量三〇〇〇ミリ。天があり余る水を湖に注ぎ込む。それらの湖が階段状に上から下に連なっている。これはまるで段々畑ならぬ段々湖である。ヘリコプターで標高八〇〇メートルを超える雪の山頂から湖づたいに下りてくると、断崖の陰から工場がこつ然と現れた。世界最大の金属シリコンメーカー、エルケム・ブレメンガー工場である。フィヨルドの海岸に面した工場の煙突からは、もうもうと濃灰色の煙が吐き出されている。風がないせいか煙は工場上空に漂い、海の上までたれ込めていた。

工場の隣には、数万トン級の鉱石運搬船が二隻接岸できる港がつくられている。極北で採掘された珪石はここで陸揚げされ、工場で加工された製品がここから世界に運ばれていく。

山肌がフィヨルド海岸に落ち込む岸辺のわずかな平地に工場と町が貼りついていた。港と工場を中心に開けた小さな市街地と海岸に点在する民家を入れておよそ三〇〇軒。人口一五〇〇。これがブレメンガー地方スベルンの町である。

断崖の下につくられた工場の裏手には大きな鉄の扉があり、それを開けると湖の真下までトンネルが通じていた。地底四か所に水力発電所がつくられており、湖の底から真っすぐに水を引いている。第二次世界大戦のとき空襲を避けるためにつくられた地底発電所であるが、豊富な水が生み出す安い電力のおかげで、ブレメンガー工場は世界一安価な電力を使うことができる。シリコンの価格は非常に安く、市場占有率は世界一である。電気炉の直径三〇メートル。一〇トンダンプが三台は入ろうかというほどの大きさであった。その中に珪石とコークスと生木のチップを混ぜて投入する。炉心にはドラム缶ほどもある炭素の棒が電極として入っている。そこに大電流を通すと炭素電極が発熱し、炉

心温度は約二〇〇〇度になる。生木から出るガスが珪石から酸素を奪い、シリコンを金属状に遊離させるというのである。

湖の真下につくられた四か所の地下発電所が休むことなく電気を工場に送り続け、三基の電気炉がうなりを上げて珪石を溶かしていく。電気炉は年間通して休むことがない。毎日二四時間操業である。燃焼して短くなる炭素電極を間断なく補いながら、原料を間断なく入れ続け、液体状のシリコンを間断なく出し続ける。オレンジ色に輝く液体を取り出して冷やすと、これが純度九二パーセントのシリコンである。これをさらに化学処理すると純度九八パーセントの粉末シリコン、その価格がトン当たり二一万六〇〇〇円。原石の約八〇倍である。年間生産量五万トン、販売額一二〇億円。ここで生産される半導体専用シリコンの七割が日本向けであった。

純度九九・九九九九九九九九九パーセント

ノルウェーやブラジルで生産されたシリコンは、まだ純度九八パーセントにすぎない。半導体の材料として使われるシリコンは純度九九・九九九九九九九九九パーセント(イレブン・ナイン)。小数点以下九が九つも続く、想像を絶する純度にしなければならないのである。一〇〇〇億個のシリコン原子の中に紛れ込んでいる他の原子がたった一個、つまり不純物の存在が限りなくゼロに近い状態まで精錬しなければならないのである。

シリコンの超高純度精製をする会社は日本全体で四社あり、いずれも世界的な技術水準を誇り、国内では厳しい技術競争にしのぎを削っている。それゆえにこそ、いまや世界市場の大半を日本の企業

が奪ってきたのだが、精製技術は数えきれないほどの極秘ノウハウに支えられている。そんなわけで、撮影取材の交渉は難渋を極めた。今までテレビクルーはもちろん。半導体業界の関係者にも見せたことがないというのである。

三重県四日市港の巨大なコンビナート群。その一角にシリコンを精製する工場がある。広大な敷地にタンク、蒸留塔、反応塔などが林立し、それらを結ぶ無数のパイプが縦横に走っている。半導体用シリコンを精製する高純度シリコン四日市工場。月産九〇トン。三菱マテリアルと大阪チタニウムの合併企業として昭和四二年に発足した会社である。

日本で最初にシリコンの超高純度精錬と単結晶引き上げに着手したのは、水俣の「新日本窒素肥料」であった。昭和三一年、水俣工場の中に実験プラントをつくり、何度かの水素爆発を経験しながら、超高純度の多結晶の製造技術を身につけていったのである。やがて昭和三三年、子会社として日窒電子化学を設立し、やがて社名を日本シリコンに変えた。千葉県の野田に工場を建設して、超高純度多結晶シリコンの製造と単結晶シリコンの引き上げを開始した。この日本シリコンが三菱マテリアルに買収された段階で、野田工場の多結晶製造設備は高純度シリコン四日市工場に移設されたのである。

超高純度のシリコン棒を刈り取る作業

ノルウェーから運んできた粉末状のシリコンは純度九八パーセント――。これをタンクの中に入れ、塩酸で溶かし、塩化シリコンのガスにして蒸留塔に送り込む。ガスは繰り返し蒸留塔を通るうちに次第次第に不純物が取り除かれ、高い純度のガスに精製されていく。不純物の含有率がわずか一〇〇〇億分の一という超高純度である。このガスを、今度は再び固体に戻すのである。

シリコンガスから固体シリコンをつくり出す巨大電気釜。技術者たちがシリコンの種棒をセットする。長さ二メートル、太さ一センチほどに切り出された細いシリコンの柱を一定間隔でセットする。その数、一〇〇本余り。種棒は製品の中から切り出して使う。この作業は今まで半導体関係者にも見せたことがない。この工程こそ、新日本窒素肥料が水俣時代に独自に開発した国産技術であった。カメラによる取材には社内で激しい反対があったという。映像で公開されてしまえば、多くのノウハウを失うことになりかねない。

結局、厳しい制限つきで撮影をさせてもらえたが、レンズの方向と画面のサイズが会社側によって厳しく指定された。電気釜の下面と天井にはレンズを向けないようにと言われた。釜の天井と床に知られたくないノウハウが無数に詰まっているというのであった。レンズを上下に振るパーンは一切禁じられた。それでもまだ心配だったらしく、三基の釜が並ぶ全景を撮影しようとすると、作業員が釜の周りに立って釜の床構造を目隠ししたのである。

日本の半導体関連企業はどこも、それぞれが独自のノウハウを蓄積しており、放送で取り上げられるメリットより失うもののほうが多いというのである。

最後に、それらの柱を全部直列につなぎ、電気の端子に接続して準備完了。釜のふたを閉め、シリコン柱に大電流を流すと、一〇〇本のシリコン柱は一本の巨大な電熱ヒーターとなって赤熱する。そ

ここにガス化した塩化シリコンと水素ガスを送り込み充満させると、水素は塩素と結合して塩酸となり、シリコンは遊離して赤熱した柱に付着する。釜のふたをしてから丸五日、種棒に電気を通しシリコンガスを流し続けると、種棒は直径一〇センチほどに成長する。その数、一〇〇本余り。これを一本一本慎重に刈り取っていく。プラスチックのつちで軽く叩くのは、中にひび割れができていないかどうか確かめるためである。ひび割れを知らずに刈り取ると、崩れるシリコン棒で全体が将棋倒しに倒れてしまう。

刈り取ったシリコン棒は、つやのない灰色の棒である。これが純度九九・九九九九九九九九パーセントの超高純度多結晶シリコンである。こうして刈り取られたシリコン棒はこれ以後、人間の素手はもちろん、金属などで触れてはならない。不純物が混入し、せっかくの超高純度を損なうからである。

棒状のシリコンを粉砕し小石状にして単結晶引き上げ工場に送るのだが、シリコン棒を粉砕する機械は主要部分が超高純度シリコンでカバーされている。多結晶を短く折って粉砕機にかけると、粉砕機の二つの歯が結晶棒をかみ砕くのだが、その歯もまた超高純度シリコンで覆われている。超高純度シリコンが触れるところに金属や素手では絶対に触ってはならないからである。金属の微粒子は導体であり、人間の手には大量のナトリウムが付着しており、ナトリウムもまた導体だからである。これらの物質がせっかく超高純度に精製した結晶に紛れ込むと、今までの努力が水泡に帰する。

さて、ここで生産されたシリコンは、超高純度ではあっても多結晶である。砂糖でいえば、角砂糖の状態である。見かけはサイコロ状に固まってはいても、微細に見ると小さな結晶がばらばらに順不同に並んで固められているにすぎない。このままでは半導体用シリコンとしては使えないのである。これを巨大な単一の結晶、砂糖でいえば氷砂糖の状態に変える必要がある。角砂糖の状態だと電気を

運ぶ電子が結晶のすき間すき間で減衰し、結局電流として流れにくいからだという。多結晶を単結晶に変える工程を「単結晶の引き上げ」と呼ぶが、これも、いまや日本は世界に誇る技術を持っている。

昔は銀山、今はシリコン単結晶工場

兵庫県朝来（あさご）郡生野（いくの）町は山並みの迫る静かな町である。かつてここには大きな銀山があり、一〇万を超える人口でにぎわったという。山あいを縫って流れる市川沿いに、民家が低い軒を連ねている。ほとんど産業らしい産業もなく、人口は年々減る一方で町はひっそりして活気がない。そんな生野の町を川の流れに沿って上流にさかのぼると、すぐに町はずれに出る。そこには銀採掘で排出されたズリが文字通り見上げるような山を築いていた。そのズリ山の下に建っている真っ白な建物、これが日本シリコン生野工場。シリコンの単結晶製造工場である。四日市で精製された多結晶シリコンが、ここで単結晶に引き上げられる。工場の天井は体育館よりも高く、広さは町の体育館の二倍はある。その中に高さ七メートルはあろうと思われる結晶引き上げ装置が林立し、てっぺんにはモーターを封入した円筒形のガラスがキラキラと光りながら回転している。

ここもまた企業機密に満ちていた。まず、工場内部の全景は撮影しないことを約束させられた。引き上げ装置が何台あるかというのは、ライバル企業にとっては大変な情報になる。生産能力が割り出され、コストがはじき出され、競争力の限界を知られてしまうというのである。

次に、結晶引き上げ装置の頂上で回転しているモーターを撮影しないこと。林立する頂上が一斉にクルクルと回転する様子は壮観であり、映像的にはぜひ撮影したいところだが、回転数こそが結晶引

き上げの重要なノウハウであり、テレビを見たライバル各社は必ずやビデオに録画して分析するに違いない。原理だけを伝えるのが趣旨であれば、独自のノウハウはできるだけ伏せておきたいというのである。

そんなわけで、こちらが撮影項目を決めると、工場側は課長の指揮で一斉にノウハウ隠しを実施し、そのあとで収録に入る。それでも不安な工場側は、収録時には毎カット必ず課長がモニター用のテレビにかじりつく。その真剣さを見て、私たちはあらためて技術競争の熾烈さをかいま見る思いがしたのである。

単結晶引き上げ炉は人間の手の高さの位置で二分割でき、炉心を露出させることができた。炉心は幾重もの炭素製のヒーターで囲まれ、中心部に石英の大きなルツボが座っている。この撮影でも幾つかの主要部品が炉心から撤去され、レンズの視野から外された。絶対に知られたくないノウハウだというのである。このように撮影時には外し、撮影後再びセットし直して作業を続行するということが何度も繰り返されたのである。

石英ルツボに多結晶シリコンを積み上げる。ルツボの石英は不純物が溶け出さないように、これまた超高純度に精製されている。シリコンの純度をあくまでイレブン・ナインに維持しなければいけないからである。その上で今度はわざわざ微量の伝導物質を混入するのである。撮影をした炉では一つまみのリン合金を投入した。不純物がほとんどゼロの状態まで精錬したシリコンに微量の伝導物質を混入することで、これからでき上がる単結晶の電気的な性質を決めるのである。

専門家は「不純物の添加」とか「不純物のドーピング」と言うが、素人流の理解で言えば「電気の素」を入れて結晶を望みの性質に変える作業である。真水は電気が通らなくても、塩を一つまみ入れ

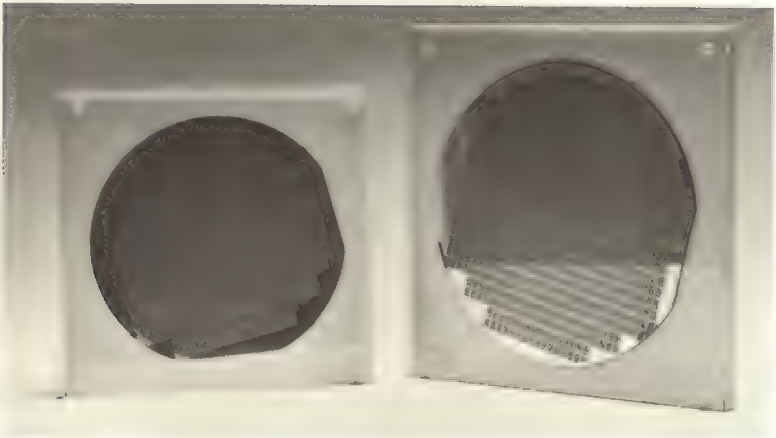
れば電気が通りやすくなるようなものであろうか。「真水に塩」とは違う点がある。半導体の場合は、電気的性質をプラスにするかマイナスにするかという選択が必要なことである。

プラスの性質を与えた半導体をP型(Positive)と言い、マイナスの性質を与えた半導体をN型(Negative)と言う。プラスの性質を与えるにはP型の伝導物質(不純物)、たとえばガリウムとかボロンとかインジウムを添加し、マイナスの性質を与えるにはN型の伝導物質(不純物)、たとえばアンチモン、リンなどを添加する。この点については後章で詳述する。

不純物の添加をしたあと、回転軸に種結晶を取り付ける。種結晶は単結晶の完成品にX線を当てて結晶軸を探り出し、設計意図に合うように切り出したものである。種結晶をつけ終わると、炉全体を密封し、炉心を加熱し、シリコンを溶かして液体状にする。シリコンの融点一四二〇度。ルツボ一杯のシリコンが完全に溶解するまで三時間はかかる。

炉心に電気を通すと、炭素のヒーターが赤熱し、中の固体シリコンは銀色から赤黒く焼け始める。やがてシリコンはオレンジ色に輝き、形が崩れ、ついに液状になる。シリコンが完全に溶けたことを見定めて、種結晶を回転させながら溶解面に接触させる。このときのシリコンの温度、種の回転及び引き上げ速度、これらが最適でないと単結晶の引き上げは最初の段階でとん挫する。

およそ二四時間かかる引き上げ時間中、液面の温度を融点一四二〇度に維持しなければならない。そのための電力調整は神業が必要である。かつてこれらの仕事は職人たちの名人芸であったが、コンピューターの登場で一変した。各引き上げ装置はすべてコンピューターを備え、それに最高の名人芸を記憶させてある。かくて、機械が常に最適状態を再現できるようになった。半導体の発達がコンピューターを変え、コンピューターの発達がまた半導体産業を変えていく。



5インチウエハーと6インチウエハー

多結晶を炉に入れてからおよそ一昼夜、直径およそ一五センチの六インチ単結晶棒が完成する。重量二五キログラム、これが細い種結晶を介して回転軸とつながっている。だから、引き上げ途中で装置が振動すると、結晶が落下したり、欠陥が生じる。生野の町が選ばれたのも、地盤のよさと地震の少ない土地柄に理由があった。この単結晶棒を薄くスライスし、鏡のように磨いた表面に超LSIをつくり込むのである。これは後に現実の半導体工場で見ることになるが、薄くスライスしたシリコン円板（ウエハーと呼ぶ）の上にLSIを同時に数百個つくるのである。

これを完成後切り分けて、一個一個リード線をつけ、パッケージに密封し、ムカデ状の半導体素子として出荷するのである。したがって、半導体製造メーカーとしてはウエハーの直径が大きければ大きいほど、取れる製品の数は急増し、結果としてコストが激減する。そこで、半導体メーカーはシリコンメーカーに対して大口径のウエハーを要求することに

なる。

前ページの写真左のような直径五インチ（一二・五センチ）のウエハーに載っている超LSIは二〇七個である。これが写真右のような直径六インチ（一五センチ）のウエハーでは三三六個になり、直径が一インチ違うと、取れるチップは一二九個も違うのである。直径が大きくなっても工程数は同じだから、同じ努力で六二パーセントも余計にチップができるとなると、装置に金がかかっても大口径のほうが望ましいということになる。これと同じ大きさのチップを八インチ（二〇センチ）でつくってみよう。六インチのウエハーをコピーした紙を貼り合わせて、八インチのウエハーに重ねてみた。なんとその数は五九六個、七七パーセント増しになり、莫大な利潤が約束されるのである。

だからシリコンメーカーの間では、直径の太いインゴット（結晶棒）を製造する技術を競うことになる。ところが、直径が大きくなると振動、温度管理、装置の精密度など、結晶引き上げの条件が何倍も厳しくなる。そうした困難を克服して、今どの企業もインゴットの直径を八インチにできるようになった。今年から八インチをめぐる競争になる。

ウエハーは鏡のような薄い円盤

生野の山中で引き上げられたシリコンのインゴットは、中国自動車道から東名自動車道、東北自動車道と乗り継いで山形県米沢市の郊外に新設された工業団地に運ばれる。この団地の一角でインゴットは薄いウエハーに切断され、研磨され、鏡のような表面に仕上げられ、内外の半導体製造メーカーに発送される。

工場は大きく分けて四つのセクションから成り立っている。インゴットから薄いウエハーを切り出す切り出し専門工場。切り出したウエハーを粗く磨く粗研磨工場。それらを鏡のような面に仕上げる鏡面研磨工場。それらの平面度や抵抗率などさまざまな項目を検査し管理する検査測定部門。各現場はそれぞれ空気のクリーン度が異なり、切断部門がいちばん低く、仕上げと検査部門は高いクリーン度が保たれている。

まず切り出し専門工程では、引き上げ炉でつくられた単結晶棒の表面を削り落とし、厚さ一ミリほどのウエハーにスライスする。リング状になったカッターの内側には粉末ダイヤモンドが塗ってあり、リングが高速で回転する。機械がインゴットをリング内側に差し込むと、リングが上から下に下降し、高速で回転する刃がインゴットをスムーズに切っていく。人間はインゴットを機械にセットし、付属のマイコンに必要なデータをインプットするだけで、あとは機械が自動的に処理してくれる。こうして、一本の単結晶棒からおよそ一〇〇枚のシリコンウエハーが切り出される。

スライスされたシリコンウエハーは、光沢のまったくない灰色の円板である。これを鏡のように磨き上げるのが研磨工程である。これがまた微妙な技術の集積であった。この取材でも撮影の前に幾つかの物品がカメラの前から撤去された。素人目にはただのゴムにしか見えないシートにも、世界市場を席巻するノウハウが秘められていた。粗磨き、中磨き、仕上げ研磨を終えて、ウエハーは厚さ〇・六ミリの鏡のような円盤になる。

原図にして六～一〇畳の広さにすき間なく描き込まれた回路を、ウエハー表面の数ミリ角の面積につくり込んでいるのが現代のLSIである。それらの回路は写真製版の技術を応用してウエハー表面に一〇数回繰り返しつくり込まれていくのだが、そのときウエハーが反っていたり表面に凹凸があっ

たりすると、回路をつくり込めなくなる。したがって、ウエハー表面の平面度や鏡面度はシリコンチップの死命を制することになる。だから、半導体メーカーはウエハーメーカーに過酷な条件を課すし、それらを充足できない企業は市場から脱落していく。近年アメリカのシリコン企業が日本企業に急追されている要因が、ここにあると言われている。

また、ウエハーの上にゴミが付着していても、LSIができない。だから、ウエハーをいかに汚染源から隔離するかも、非常に重要な努力になる。半導体製造にとって最も危険な物質は、人間の体から出るナトリウムである。鏡面研磨が施され検査が終わると、クリーンパッケージに入れて密封され、半導体工場のクリーンルームに送り込まれるまで、人手はむろん外界から完全に遮断される。

こうして北限のノルウェーで採掘され精錬されたシリコンは、四日市で超高純度に精製され、兵庫県生野の山中で単結晶に引き上げられ、山形県米沢市でウエハーに加工された。その一部は四国の愛媛県西条市にある三菱電機西条工場に運ばれ、「魔法のチップ」超LSIに加工されることになる。製品は一メガビットのメモリー。それは先に説明したように、一〇〇万個のトランジスタが搭載された超LSIである。

三菱電機西条工場

現代の半導体工場はどの企業でも人間が工場内部に入ることを極度に嫌う。簡単に言えば、超細密な回路は細菌一個がウエハーに付着しても破壊され、微量のナトリウムイオンが工程のどこかに付着しても工場全体が甚大な打撃を受ける。その最大の汚染源が人間であり。回転系の機械である。だか

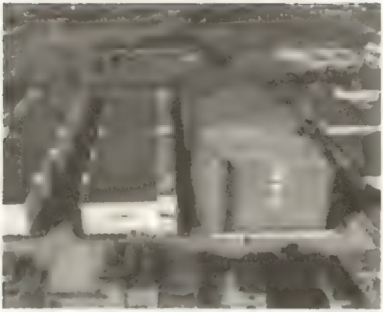
ら、カメラを持った人間は半導体工場にとって最も危険な存在である。そんなわけで、私たちは企画当初から各企業に半導体工場の映像取材を願い出たが、一社を除いて例外なく峻拒された。

私たちの申し出を最後に了解し協力してくれた三菱電機の場合も、兵庫県伊丹市の超LSI研究所の皆さんと私たちとの間で激しい議論の応酬があった。最後に企業側は、生産ラインの一部を二日間ストップして撮影に協力することを決断してくれた。

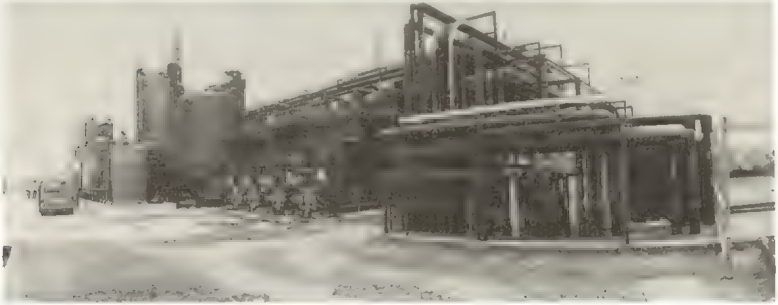
愛媛県西条市の海岸に完全自動化された半導体製造工場がある。昭和六三年、大河内記念生産賞を受賞した三菱電機西条工場である。世界的水準を行くこの工場をつぶさに見ることで、驚異の半導体生産の一端をうかがうことにしよう。

空から見る工場は海岸から五〇〇メートルほどのところに建っている。三六〇メートル四方の敷地に巨大な工場が二棟。高さは四階建てのビルに相当し、長さ一五〇メートルで窓は一切なく、真っ白くのっぺらぼうな壁に覆われている。その横では、さらに大きな工場が建設中であった。工場はやがて三棟になる。二棟の工場には小さな工場ほどもあるさまざまな施設群が隣接している。緑色のタンク群と無数のパイプが入り組んで立つ大きな超純水製造装置棟、細菌除去装置棟、冷却水製造装置棟、ガスヤード、排水処理装置、一メガメモリー製造工場、建設中の四メガ工場、六四メガ用建設予定地、資材搬出入のための物流センター。従業員総数一〇〇〇人、四組が三交代で二つの工場を動かしている。一つの工場に働く人員は常時五〇人。

人影のない工場敷地を行き来する無人搬送車、その向こうに見えるのが巨大な超純水製造装置である(写真B)。一日にこの工場で使う水の量は、二五メートルプールでおよそ八杯。水の質が生産歩留まりを決定的に左右する。半導体製造用の純水にするには、膨大な処理を施す。微粒子をろ過し、プ

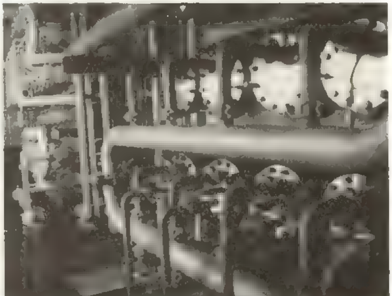


A　13万m²の敷地に広がる三菱電機西条工場（右）と構内を走る無人搬送車（左）



B　巨大な超純水製造装置。半導体製造工場は水が命である

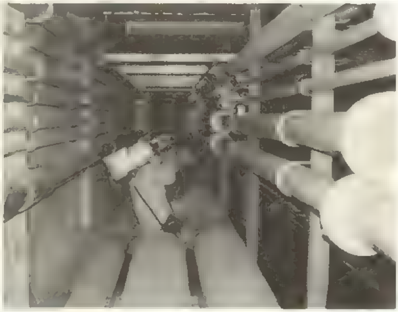
D　年２回行われるフィルター交換作業



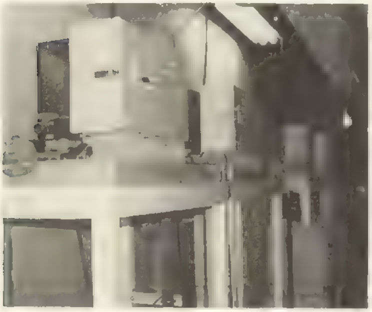
C　電気的に超高純度にした水からさらに細菌などの超微粒子を取り除くフィルター装置

E　冷却水製造装置。工場内の温度調節に役立っている

H　空気フィルターの交換作業



F　各種のパイプが走る地下共同溝



I　ナトリウム監視装置

G　工場の壁に設けられた空気取り入れ口

ラスイオンを取り除き、マイナスイオンを取り除き、バクテリアを取り除く。回路をつくる線の幅がバクテリアの大きさより狭くなっているため、バクテリアの存在は致命的な打撃になる。

写真Cはバクテリアを取り除くフィルター群。同じ装置が部屋の反対側にも設置されている。バクテリアを取り除いたあと、もう一度イオンを取り除いてクリーンルームに送るのだが、クリーンルームの中で使う直前に再び同じ処理を施して使うのである。こうして水にかける費用は、普通の水の一五倍になる。

これらのフィルターは年に二回定期的に交換しなければならない。直径二〇センチ、長さ五メートルもあるステンレス製の肉厚の鋼管が上下左右にびっしりと並んでいるが、作業員たちはその一本一本に詰まっているフィルターを取り去り、新品と交換する。無数のネジを外し、鋼管のふたを外し、使用済みフィルターを抜き取り、新品フィルターに詰め替える。水を含んで膨張しているフィルターを抜くのは大変な力を必要とする。（写真D）

フィルターはバクテリアを取り除くための必需品である。ミクロンレベルの微細回路をウエハーにつくり込む現代の半導体製造工程では、一個のバクテリアがウエハーに付着しただけで電子回路は破壊される。線の幅がバクテリア一個の大きさより細いからである。工場で使用する水はイオンを取り除き電気的性質の純度を上げると同時に、細菌レベルの生物要因も除去しなければ半導体製造が阻害される。純粋の品質を維持するために膨大な金をかけ、不断の努力を払うのである。

写真Eは冷却水製造装置。工場内の空気を常に一定温度に保つためには、膨大な冷却水が必要なのである。写真工程をはじめ各工程の装置が温度によって伸び縮みしないように、空気温度を一定に抑える必要があるからである。

写真Fは工場群と各施設を結ぶ地下共同溝。電力、超純水、通常の水道水、各種ガス、使用済みの排水、これらを通すパイプが地下を縦横に走っている。いわば、これが半導体工場の動脈と静脈である。

写真Gは工場の巨大な白い壁につくられた空気取り入れ口である。縦横五メートル四方はある開口部から取り入れられた空気は、いったん一〇畳間ほどの部屋に滞留し、両側の壁面から浄化装置に吸い込まれていく。工場の中央部で取り入れた空気を左右に分けて浄化する。その方法について子細に見ていくと、空気滞留室の両壁面は八畳ほどの金網で覆われ、金網の向こう側にはさまざまなフィルターが、すき間なく、何段階もびっしりと設置されている。その厚さは三〇メートルに近い。しかも、各種フィルター層の間にはろ過した空気を冷却したり、温めたりする装置がはさまれている。同じフィルターがもう片側にも設置されている。

空気フィルターも年に二回、定期的に交換しなければならない。写真Hは空気純化装置の最終段階に設置されている超微細フィルターを交換する作業である。人間一人がやっと入れるほどの出入り口から空気ダクトの中に入り、壁面のフィルターボックスをはずして新品と取り替えるのである。ちょうどオーディオのスピーカーボックスほどの大きさの木箱にフィルターがびっしりと詰まっている。箱の材質もつくりの頑丈さもそのままスピーカーボックスになるのではないかと思われるほど、一個一個が立派につくられていた。これが空気通路にすき間なくネジ止めされているのである。交換は熟練と体力のいる仕事であった。

空気滞留室の入口には写真Iのようなナトリウム監視装置が設置され、外気と工場内空気の両方についてナトリウムイオンの濃度を監視し、空気中のイオン濃度が高くなると警報を発し、迅速な対応

がとれるようになっている。

こうやって、宇宙空間以上に浄化した空気を巨大な送風機でクリーンルームに送り届けるのである。フィルター群が並ぶフロアの一階下には、背丈が電信柱ほどもある送風機が何台も並んでごう音を立てていた。巨大送風機の全部を撮影することは禁じられた。工場能力が推定されて、コストが割り出されるというのである。

純化された空気はこうした送風機群でクリーンルームに送られ、天井の超微細フィルターでさらにろ過されたあと天井から降るように落ちていく。その途中で空気は部屋のゴミやイオンを取り込んで網目の床から純化装置に戻り、再び浄化されてクリーンルームに送られる。このサイクルの途中で、逃げた空気と同じ量の新しい空気を開口部から採取して補うのである。

こうした巨大な空調設備は、クリーンルームの空気からあらゆるゴミやイオン物質を取り除くためには欠かすことのできない装置であるが、困ることはこれらの装置が工場にかすかな振動を与えることである。現代の半導体工場でいちばん警戒しなければいけない事柄はゴミと振動である。線幅を一ミリにして描くと全体が六~一〇畳になるという図形を、わずか四ミリ×一五ミリの大きさに縮小して焼き付けるのが、超LSIの写真工程である。それは、全工程三五〇にものぼる超LSI技術の中でも最も重要な工程の一つである。これが振動で壊滅的な打撃を受ける。そこでこの工場の場合、空調設備が載る建物と、製造ラインが載る建物は完全別構造になっていて、基礎部分から互いが隔離されている。一体構造に見える工場が、基礎部分から二つの建物になっていたのである。

■「魔法のチップ」は人間嫌い

物流センターと二つの工場は工場敷地内に埋設された誘導ラインで結ばれており、動く倉庫のように巨大な無人搬送車がオルゴールを奏でながら行き来する。その様子はまるでＳＦの世界が地上に現れたかと錯覚するほどである。無人搬送車内部の清浄度は、工場と同じ水準に維持されている。

搬送車が工場の資材搬入口の大扉に取り付く。搬送車が完全に密着し、外気を完全に遮断したところで、工場内側の扉が開く。ここで工場内小型搬送車が動き出し、物資が外部搬送車から内部の小型搬送車に転載される。内部搬送車も床に埋められた誘導線に従って走る。誘導線が中央集中管理室のコンピューターからの命令を発信し、それを搬送車が受けて移動する。搬送車はコンピューターの発する命令に従ってエレベーターに乗り、各階の廊下を縦横に走行して目的個所まで物資を運ぶ。こうして、無人搬送車に収められた物資が外気に触れることなく工場内部を経由し、クリーンルーム入口まで届けられるのである。

撮影取材には、厳しい条件がつけられた。

まず、撮影に使う機材を外部用と内部用の二組用意する。内部用の機材は撮影日時の数日前に物流センターに搬入する。管理係がカメラ、ＶＴＲ、照明機材、録音機材など必要機材をすべてアルコールで丹念にふき、厳重にビニールパックに密封して無人搬送車に格納するのである。こうして、工場内部用の撮影機材は無事外気に触れることなく、クリーンルームの入口まで運ばれる。

工場はクリーン度別に四つのエリアに分けられている。生産に関係のない空間エリアＤ、普通のオフィス空間である。次が製造ラインの作業者たちが用を足したり食事をしたりする生活空間エリアＣ、

食堂やトイレのある生活空間である。二番目が製造装置を補修維持したり、必要資材を運ぶために設けられた空間エリアB、これはクリーンルームの周囲を囲む長大な廊下でもある。ほとんどすべての装置の出入り口はクリーンルームの中に向いており、本体は廊下に出ている。したがって、人間がクリーンルームに入室することなくメインテナンスができるのである。最後がシリコンウエハーの上に膨大な電子回路をつくり込むために約三五〇の工程を処理する場所でエリアA、ここが宇宙空間並みの清浄度に保たれたスーパー・クリーンルームである。

取材当日の朝、工場内部に設置されたシャワー室で素っ裸になって全身を丹念に洗い、工場側が支給するパンツと下着を着用し、中間服と靴を着用してエリアDからエリアCに入った。外気に触れる点では人間も例外ではない。しかも人間は、自身がナトリウムをまき散らす。この工場では、工場に入る人はすべて入口で全身を純水で洗い、外で付着したナトリウムと体から出たナトリウムの両方を洗い流す。

これ以後、身につけるものは一切所定の衣類でなければならない。肌着、パンツ、靴下、それに中着。これらは着用一回ごとに半導体専門のクリーニング工場に転送されて洗浄され、クリーンルームの中で密封されて戻ってくる。

一般生活区域エリアCにはトイレや食堂、休憩室などがある。ここだけには小さな喫煙室がある。休憩ごとに入りびたっては連続三本も胸深く煙を吸引するわがスタッフを見て、ウエハー製造部長の天野正勝さんが苦笑した。「本当は喫煙後四八時間以上経過した人でないと生産ラインに入れたくないんですが、従業員に絶対禁煙を命ずるわけにもいきませんので、やむをえず喫煙室を設けているのですが、タバコに含まれる微量のリチウムイオンが半導体製造には大敵なんですわ」

工場内で物資を運ぶ無人搬送車

撮影用機材のクリーニング

防塵服を着用したスタッフ全員の記念写真

食堂を通っていよいよ生産区域エリアBに入るが、入口がまた厳重な関所になっていた。エリアCへの入口で全身を洗ったあと着た除塩下着の上から、ここで今度はゴミの出ない専用の防塵服と防塵靴と防塵帽子を着用する。頭はフケが飛ばないようにすっぽりと覆い、口元はツバが散らないようにカバーし、露出するのは目と手だけにする。それは宇宙服を着た姿である。

最後に露出した手を純水で丹念に洗い、生産区域の入口に設置された長い階段をゆっくりと上がっていく。壁から強力な空気が吹き出して衣服のゴミを吹き飛ばし、床がそれを吸引する。階段ステップには粘着性のフィルムが貼ってあり、靴のゴミを吸着する。面倒なことには、たとえば食事のときなど、一般生活のエリアに戻るときは防塵服を脱いで除塩服だけになり、休憩後生産ラインに入るときは再び防塵服を着用しなければいけないのである。

無人ロボットの世界

強力なエアシャワーの出る長い階段を一段ずつゆっくり上がって製造関連空間のエリアBに入ると、そこは長い廊下が走っており、一定区間ごとに消火設備と防毒マスクが置かれていた。まる

で軍艦の中のような感じであった。かつて私は米第七艦隊の旗艦ブルーリッジで三日間乗船取材したことがあるが、半導体工場の中の感じは軍艦の中とそっくりであった。窓がなくエンジン音が絶え間なく続いている。

長い廊下を屋内搬送車がオルゴールを奏でながら縦横に走っている。廊下のあちらこちらには掲示板が設けられており、会社側の伝達事項や職場のQCサークル活動の様子が貼られている。このエリアにもオフィスと休憩室があった。ただし、この休憩室は禁煙。熱帯魚の大きな水槽が二つあった。一つは黒い布で覆われているので聞いてみると、それは夜勤者が観賞するための水槽で、昼間は中の熱帯魚も眠っているのだという。夜になると昼間用の熱帯魚が布で覆われてお休みとなる。人間は三交代、熱帯魚は二交代であった。

廊下には無数の装置が設置され、その窓だけがクリーンルームの内側に向いている。したがって装置の保守点検は廊下で行うことができ、クリーンルームに入る必要がない。生産ラインにはできるだけ人間を近づけたくないからである。この巨大な工場を常時五〇人の熟練工で動かしているということだった。

真空蒸着装置の部品交換をしている作業員が熱心に働いていた。彼が消耗した部品を取り外したところで、なにげなく質問が口をついて出た。「それで何日目?」

周りで監視していた荒川勝美製造第一課長が飛び上がらんばかりにほえだした。「ダメだ、駄目です。インタビューはなし。約束を守ってください」。この消耗品が何日でこの程度になったかがわかれば、工場の生産能力も割り出せるというのである。「作業員へのインタビューは絶対にお断りです」と課長の血相が変わっていた。

第一課長の眼は、私たちのちょっとした行動も見逃すことがなかった。たとえば、こっそりスチルカメラのファインダーをのぞくだけで「隠れて写真は撮らないでください」と叫び、廊下の貼り紙を見ていると「会社の重要事項が書いてありますから見てはいけません。廊下を歩くときはキョロキョロしないで前だけを見て真っすぐに」と色をなす。クリーンルームの拡声器に中央管理室から送られてくるメッセージを録音すると、「スピーカー録音はダメ」と一喝。

現代の工場は、おおらかでものわかりのよい工場長と、冷静な判断をする部長と、絶対に融通のきかない課長の絶妙なるコンビネーションで運営されているようだ。そういえば、どこの工場でも課長の眼だけが異様に光っていたのは、気のせいだろうか。

やがて、数日前に物流センターに搬入した撮影機材が搬送車に積まれてやって来た。廊下からクリーンルームの中に入るとき、撮影機材と人間は入口で再び強力なエアシャワーにさらされ、機材ともども取材クルーが黄色一色の部屋に入ったのである。いよいよクリーンルーム内部の撮影である。

クリーンルームの中は、黄色いランプ一色に統一された異様な空間であった。写真工程に影響を与えない色でクリーンルーム全体が統一されている。幅三〇メートル、長さ一〇〇メートルにも及ぶ黄色の空間には、同じ構成の製造ラインが四組設置されている。その第一ラインが撮影用にあてられた。部屋の中央に縦貫通路があり、そこを無数の小型搬送ロボットが行き来し、搬送ロボットから固定ロボット、固定ロボットから搬送ロボットにウエハーを入れた容器を受け渡ししている。

取材の日時に合わせて第一ラインが集中制御室の中央コンピューターから切り離され、マニュアル操作で動くように切り換えられた。実際はクリーンルームの中の製造ラインは、無数のロボットがコンピューターの指示で自動的に動いている。工程を三〇日かけて機械が処理するわけだから、たとえば

黄一色で統一されたクリーンルーム

一〇工程目と二〇工程目の作業を撮影しようとすれば、一〇工程目が終わったあと、二〇工程目が来るまで撮影班は何日も待つことになろう。そんな余裕は当方にも工場側にもなかった。

各工程を能率的に撮影するには撮影用のラインを臨時に設定し、自動設定を解除しなければならなかったのである。同時にそれは撮影が生産に悪影響を与えることを恐れた工場側の措置でもあった。撮影の能率を上げて取材班がクリーンルームの中に滞在する時間を極力短くしたい。いずれにしても、人間を隔離するための無人化ラインに撮影班を入れることなど、工場側にとっては大変な冒険に違いなかった。

クリーンルームの中で働く従業員はわずかである。その一人がシリコンウエハーの戸籍係である。廊下を走る屋内搬送ロボットからウエハーを受け取るのも彼である。彼がウエハーを機械にセットしてしまえば、人間が介在することなく、機械だけが膨大な工程を自動的に処理していくのである。ウエハーを洗浄し、炉に入れ、感光剤を塗り、写真焼き付けを行い、現像をし、薬品処理をし、炉に入れ、イオンを注入するといった作業を無数に繰り返し、全部で三五〇の工程を約三〇日間かけて完了する。人間は装置の定期整備と緊急事態にマニュアルで対応するために存在し、

少数の熟練した要員がこれにあたる。

戸籍係の手でウエハーは密封ケースから出され、二五枚を一組にしてふたのないオープンケースに移される。ふたのない容器に格納されたシリコンウエハーは自動ラインの入口にセットされ、出発を待つ。戸籍係は各容器ごとにコード番号をつけ、コンピューターに登録する。集中管理センターのホストコンピューターが、生産計画に基づいて全ウエハーの工程管理をするのである。三〇日間クリーンルームの中に滞在し、三五〇の工程を施されたシリコンウエハーの一枚一枚には、膨大な電気回路を持つ小さなチップが三〇〇個もつくり込まれている。それは先に光学顕微鏡で見たように、巨大都市の上空を飛ぶ空撮映像のように複雑で緻密で寸分のすきもない空間の果てしない広がりであった。

これらを一個一個に切り離し、リード線をつけ、端子につなぎ、樹脂でパッケージして製品にする。それらの工程もまた日本が誇る分野であり、それを支えているのがさまざまなスーパー技術である。こうして安価で信頼性の高い半導体がさまざまな製品に組み込まれて最終商品となり電子立国を築いているのが、現代の日本の姿なのである。

ところで、ウエハー上のチップを切り離し、機械がつまんで金具に載せて固定する場面を撮影するときは、撮影用のダミーがセットされた。本当の作業ではウエハー上の不良チップには印がついている。この本物を撮影すると、半導体関係者が見れば一目で不良品の数がわかり、生産歩留まりが知られてしまう。生産歩留まりこそが最大の企業機密だというのである。

ある半導体メーカーのOBがこんな話をしてくれた。歩留まりについてはどこの企業も非常に神経質で、具体的な数字をしゃべってくれることはほとんどない。だが、このときばかりは具体的な数字が会話の中に出たのである。

Ａ氏　ある製品を開発しているとして、最初は試行錯誤の繰り返しでなかなか歩留まりが上がらない。仮に一枚のウエハーから一八〇個取れるとしましょう。これが歩留まり四〇個を超えるようになったら、量産に入って発売開始をしてもいいと考えていました。

――歩留まり二二パーセントで？

Ａ氏　そう。

――やがて、歩留まり何パーセントくらいまで上がるものですか？

Ａ氏　九六パーセントですね。

――えっ、九六パーセントも？

Ａ氏　そうですよ。

――すると歩留まり二二パーセントで採算ラインだとしたら、歩留まり九六パーセントになると、七四パーセントが全部純益のボロ儲けになるんですか？

Ａ氏　捨てていたものが金に変わるんですからね。

――すると、歩留まりが上がると製品コストが激減する？

Ａ氏　当然でして、その激しさが半導体産業の一大特徴だと言えますね。ですから、半導体産業では生産の合理化とか生産数量を上げる努力をするよりも、歩留まりを上げる努力をしたほうがコスト競争に勝つ近道ですし、直接に莫大な利益につながるんです。

――なるほど。

Ａ氏　それで企業間の熾烈な歩留まり競争になるんですが、その勝負に勝つ最大の手段がゴミと振動を退治することなんですね。

日本の半導体のコストは今世界一低いと言われている。しかも、製造コストが世界一低い日本の中ですら、コスト格差が倍は違うという。その最大の要因の一つが生産歩留まりの格差にあった。水・空気・そして自動化、これまで見てきたさまざまな努力は、つまるところ歩留まり競争に勝ち、過酷な競争に生き残るためのあくなき追求であった。

一〇〇万個から一個を探す

世界の最先端を行く半導体工場を思い通りに記録できたことに満足感を覚えながら、撮影した映像を試写してみた。最初は規模の大きさ、無人工場の様子に、感銘しながら見ていたが、やがて一抹の不安を感ずるようになった。

クリーンルームで私たちが目撃できたのは、無数のロボットが大量のウエハーを勝手に運び、大きな装置の入口から別の装置の入口にウエハーを入れたり出したりしているだけのことだった。SF映画を見るような風景に驚愕はしたものの、見慣れてしまえば単なるロボット・ショーにすぎない。一体装置の中では、どのような目的で、どのようなことが行われているのだろうか。工場側の解説は素人の私たちにはとうてい理解できない難解なものだった。

ロボット・ショーの映像にこの難解な解説を加えたら、テレビのお客様は三分と我慢ができまい。何とか手を考えなければならない。クリーンルームの場面は完全なロボット・ショーとして楽しく官能的に見てもらうにかぎる。ということは、番組上の工夫としては、クリーンルームの場面が来るまでに、見る側にロボットたちの所業の意味を充分伝えておかなければならないことになる。お客様が

一目でロボットたちが、それぞれ何をしているのかがわかっていなくてはなるまい。

たとえば、もし同じ作業を人間がむき出しの装置で行うとしたら、ブラックボックスの中身がもっと理解しやすいのではないだろうか。私たちは無人化工場でロボットが行っているプロセスを、人間が手づくりでやってみたらどうなるだろうかと考えた。

幅四ミリ、長さ一五ミリのシリコン結晶の上につくり込まれた電気回路は、先に顕微鏡で見た通りである。トランジスタが一〇〇万個も入っているという超ＬＳＩであったが、そこで私たちは、メーカーにこの回路の全体図を見せてほしいと頼みこんだ。ところが、ことはそう簡単ではない。全体図といっても、いろいろあるというのである。一つが装置としての配線図、つまり一〇〇万個のトランジスタ、抵抗器、コンデンサーなどを結線した純粋な電気回路図である。もう一つが写真工程用の図形（マスク）である。ちょうど写真のネガに相当する。シリコンウエハーに感光剤を塗り、この図形を重ねて露光させ、図形を焼き付ける。その後、図形中の必要部分に化学処理などいろいろな処理を施していく。そうすることで図形のある部分は絶縁層になり、ある部分はトランジスタ群になり、他の部品群になり、金属配線層になっていくのである。そうした写真工程は一五から一六種類もあり、それぞれに対応する図形がある。当然のことながら、それら一六枚は寸分の違いもなく位置合わせができている。それら一六枚の図形を重ね焼きしたものが、いわば半導体回路としての全体図なのである。

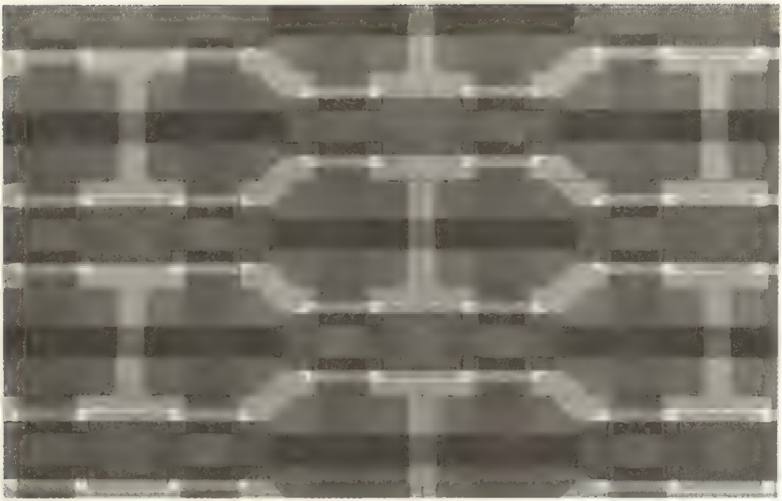
これらの図形はＣＡＤというコンピューター描画装置を使って描くのだが、ＣＡＤでは全体像がつかみにくく、最後は紙に打ち出して肉眼で点検することが多い。その大きさは線の太さをどれくらいにするかで違ってくるが、点検作業がやりやすいように線幅を数ミリほどの太さにすると、図形全体の大きさは一〇畳間いっぱいになる。したがって、点検作業は数人が手分けして図面の上に腹ばいに

なって行うことになる。私たちのために打ち出してくれた図形は線幅を〇・五ミリにしてもらったが、それでも紙全体が幅一メートル、長さ三メートルの大きさになった。（写真B）

それは中央に無数の線が走り、複雑で微細な図形の団地が配置され、その両側には紫色の海が広がっていた。その海を子細に見ると、紫色の線が微細なメッシュを織りなして連なっている。一体どれがトランジスタなのか。聞いてみると、両翼に広がる紫の海が一〇〇万個にのぼるトランジスタの団地だというのである。それなら今度は、どれが一個のトランジスタなのか。メーカーの説明では「これではわかりません。拡大させましょう」と言って、一点を拡大してくれた（写真A）。幅一センチほどの薄紫色の帯が縦横に走り、交差していた。このどこがトランジスタなのか。

これからがちょっとした騒ぎになった。私たちに説明をしてくれた技術者も「ちょっと待ってください。正確なところを設計者に確かめますから」と言うのである。打ち出した拡大図をファックスで送り、設計者から書き込みのある図面が送り返されてきた。「わかりました。これがトランジスタです」とピンポイントしてくれたのが、写真のような形の部分であった（写真C）。それは、長方形と台形と正方形を組み合わせて描いた広口瓶のような形をしていた。瓶の首に相当する長方形部分がトランジスタで、瓶の胴に相当する大きな正方形部分がMOSキャパシタと呼ばれるコンデンサーだというのである。

コンデンサーには電気をためる性質がある。情報を電気信号に変えてコンデンサーに入れたり出したりするのがメモリーの原理であり、いわば倉庫の役目をする。その倉庫の戸を閉めたり開けたりするスイッチがトランジスタの役目であり、それがコンデンサー部分の入口に隣接しているというのである。メモリーの記憶容量を表す単位に「ビット」という言葉があるが、「一ビット」は鍵（スイッチ）



A　回路全体図の一点を拡大したもの

C　写真Aの中から1個のトランジスタをピンポイント

B　幅1m、長さ3mの回路全体図

トランジスタ1個の電子顕微鏡の映像（上から）

トランジスタ1個の電子顕微鏡の映像（断面）

と倉庫、つまりトランジスタ一個とMOSキャパシタ一個の組み合わせをいうのである。したがって「一メガビット」のメモリーとは、この組み合わせが一〇〇万個連続しているということであり、それが紫の海の正体であった。

では、倉庫の入口のトランジスタ一個だけについて見ると、その構造はどうなっているのだろうか。実際のシリコンチップの中から電子顕微鏡で映像として取り出してみよう。上から見た映像が写真上であり、その断面が写真下である。

詳しい説明はあとに譲るとして原理を簡単に説明すると、

シリコンの中にはA、Bという母体のシリコンとは違う性質の「電気の島」が埋め込まれており、Cという電極(ゲートという)に電気信号を加えると、AとBの間が導体になったり絶縁体になったりする。つまり、Cというボタンを微弱な電気信号で押してやると、AB間が電気的に開閉する。この電子スイッチとしての働きを使って、倉庫の開け閉めをしているのがDRAMという超LSIメモリーである。

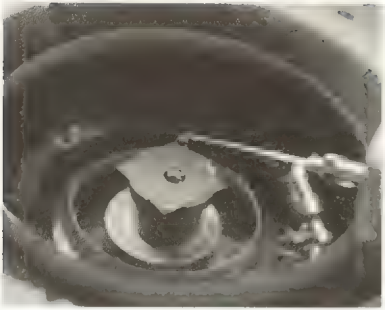
こうして私たちは、ようやく一〇〇万個のトランジスタの中の一個を取り出して見ることができた。では、この一個を手づくりで製作してみよう。

ロボットの仕事に人間が挑戦

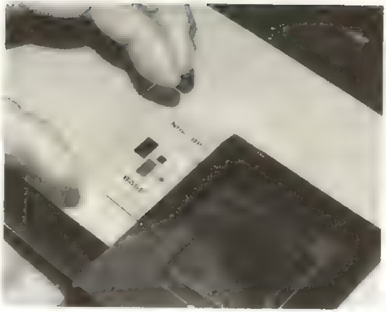
東北の仙台には世界的な半導体研究所がある。半導体開発のパイオニアで平成二年東北大学学長に就任された西澤潤一博士らが、昭和三六年につくった組織である。

ここでは半導体のさまざまな最先端技術を研究開発しているが、私たちは西澤博士に番組への協力をあおいで、一メガのメモリーを構成する一〇〇万個のトランジスタのうちのたった一個をテレビ撮影用に拡大してつくってもらうことにした。ふだんは最先端の研究をしている研究員が三人がかりで三週間、文字通りの手づくりとなった。

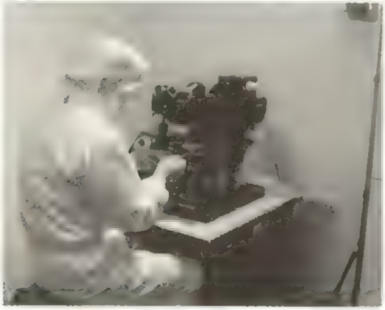
研究員が最初にとりかかったのは写真工程用のマスクづくりであった。コンピューター描画装置を使って、たちまち写真のような四枚の図形を描いた。ものの三〇分もかからなかった。図形は座標軸の位置として磁気テープに記憶させ、それを電子ビーム描画装置にセットする。業務用の冷蔵庫より



D　シリコンウエハーに感光剤を一滴たらす



A　4枚のマスク



E　露光装置

B　クリーンボックスで作業する研究員

F　図形部分だけに窓の開いたシリコン

C　赤い炉心とシリコンウエハー

も大きな装置が正方形のガラスに黒い図形を自動的に描いていく。カード大の写真原板が四枚、またたく間に完成した。（写真A）

実際の工場では、他の部品や配線など複雑な工程が繰り返されるのでマスクの数も一五枚から一六枚になる。その一枚にはミクロン単位の線や図形がびっしりと密集しており、その様子は先に光学顕微鏡の視野の中に巨大団地の風景として流れたものと同じである。しかも一六枚のマスク一枚一枚が全部異なる図形であるが、それらを重ね合わせたとき、寸分のずれもあってはならない。このマスクをロボットが自動装置にセットすると、機械が感光剤を塗ったウエハー上に三〇〇枚余りを次々と焼き付けていくのである。これをマスクの枚数だけ繰り返す。

さて、実験室でのウエハーは縦横一〇ミリ、厚さ〇・五ミリ、鏡のように磨かれた正方形のシリコン板であった。これを純水で洗浄し、使用直前までアルコール液に漬けておき、空気に触れないようにしておく。ナトリウム汚染を防ぐためである。工場では、この洗浄作業もロボットが行っていた。容器ごと大量の純水で洗い、乾燥させるのである。工場では、アルコール漬けにしない代わりに、部屋全体の空気がスーパー・クリーンに保たれている。

実験室は、石英パイプやステンレスパイプがいろいろな装置からタコ足のようにはい出ていた。所狭しと置かれたさまざまな装置。酸化炉、拡散炉、ガス操作でシリコンの上に結晶を積み上げるCVD装置、真空蒸着装置。毒ガス危険というどくろマークが貼られた多種類のガスボンベと制御装置。それぞれの出入り口は厚い透明プラスチックの箱で覆われていて、ゴムの手袋がぶら下がっている。研究員は外からゴム手袋に手首を通して中に腕を押し込み、高熱炉のふたの開け閉め、試料の出し入れなどを透明箱の中で行うのである。シリコンが部屋の空気に触れないための措置であり、危険なガ

スが部屋に漏れないための工夫でもある。これを研究員はクリーンボックスと呼んでいた。(写真B)
高熱炉は石英管でできており、中が真紅に焼けていた。西条工場でも多くの炉が並んでいたが、赤熱した炉心が顔を出すのは、ロボットがふたを開けて大量のシリコンウエハーを出し入れするときだけであった。
研究員が酸化炉の入口にあるクリーンボックスにアルコール漬けのシリコンウエハーを入れてゴム手袋ごしに炉のふたを開け、ウエハーをアルコールから出し、それを石英の台にセットし、静かに炉心に押し入れ、炉のふたをした(写真C)。
酸化炉の裏側には純水の入った大きな瓶が電熱器の上に載っていた。そのふたからは石英パイプが炉につながっている。瓶の中の純水は煮えたぎり、水蒸気がパイプを伝って炉の中に送り込まれている。シリコンの表面を酸化させて丈夫な保護膜をつけるのだという。シリコンをいったん酸化膜で覆った上で必要なところだけに窓を開け、そこから伝導物質を注入する。集積回路技術のベースをなす工程であり、最も基本的な重要技術であった。西条工場のロボットが大量のシリコンウエハーを炉の中に入れたり出したりしていたのは、この工程であった。数時間後に研究員が取り出したシリコンウエハーは紫色に輝いていた。全面が酸化膜で覆われたのである。
研究員はこれを写真工程室に持ち込んだ。部屋は黄色いランプで照明され、クリーン度は西条工場のクリーンルームに匹敵するほどに調整されている。感光剤は紫外線で硬化する薬剤なので、紫外線を含まない波長の光線で部屋が統一されているのである。
酸化膜で覆われたシリコンウエハーを回転台に載せて、注射器で薬液を一滴たらした(写真D)。これが感光剤である。スイッチを入れると回転台は高速で回りだし、感光剤が遠心力で飛び散り、スイ

回路の線と線の間に横たわるゴミ。バクテリアと同じ大きさのゴミだが、線幅より大きい

ッチを止めるとシリコンウエハーの表面は七色の虹が輝くように変化し、やがて乾燥して元の紫色に戻った。薄い感光膜がシリコンの上についたのである。

すぐ隣には露光装置があった（写真E）。感光膜のできたシリコンを試料台に装着し、つくりおいてあるガラスのマスク（黒い図形を焼き付けた写真乾板）を重ねて露光。実際の写真工程では、シリコンやマスクにミクロン単位のゴミが付着しても、それらが影となって転写され、結果としてトランジスタ部分を破壊したり配線を切断したりする。線幅がいまやバクテリアの大きさより細いからである。また、このマスクを重ねて露光する作業は全部で一五回から一六回も繰り返すことになり、それらの位置合わせが絶対にずれてはならない。したがって、この作業中に装置が振動すると回路全体を破壊しかねない。だから、工場を振動ゼロの構造にする必要がある。

さて、露光後のウエハーを化学処理室で現像する。シリコンを現像液から上げてみると、表面の図形が重なった部分だけに水滴がついていた。酸化膜のと

れた部分だけが親水性に変わり、水をはじかなくなったからである。水滴をふき取ると、光沢を失っている。これをフッ酸液に漬けると図形部分がさらに輝きを失い、シリコンの生地そのものが顔を出していた。他の部分は紫色の酸化膜に輝き、図形部分だけに窓が開いている。(写真F)

窓の開いたシリコンを今度は高熱炉の中に入れて、二酸化シリコンをガスにした気体を炉の中に流し、CVD (Chemical Vapor Deposition=化学蒸着) 法を用いてシリコンウエハー上に薄い酸化膜を成長させる。先に見たような酸化炉で酸化させると、酸化膜が厚くなる。薄い酸化膜をつけるにはCVD法のガス操作でつくるのである。

このあと、ガスを二酸化シリコンからモノシランガスに変える。薄い酸化膜の上に今度はシリコンの多結晶が成長する。ちょうど四日市の高純度シリコンで見たように、シリコンガスを炉の中で固体に戻す工程が、CVDの結晶成長炉の中で行われるのである。モノシランガスは爆発性の非常に危険なガスである。半導体工場でしばしば死亡事故や爆発事故を起こすのも、この結晶成長炉の操作中が多い。炉の中に流すガスはしばしば猛毒のガスが使われるため、炉は厳重にできている。全体がステンレスの塊のように頑丈にできていて、ふたも厚さが数センチもあった。

窓を開けて中に薄い酸化膜を積み、その上にシリコンの多結晶を積んだシリコンに再び感光剤を塗り、二番目のマスクを重ねて露光し現像し化学処理をすると、マスクの図形部分に窓が開く。多結晶シリコンとその下の薄い酸化膜が薬品処理で溶けて流れ、シリコンの生地が顔を出すのである。他の部分は厚い酸化膜で覆われている。この窓から不純物(伝導物質)を注入すると、窓の中だけシリコンの電気的性質が変わるのである。

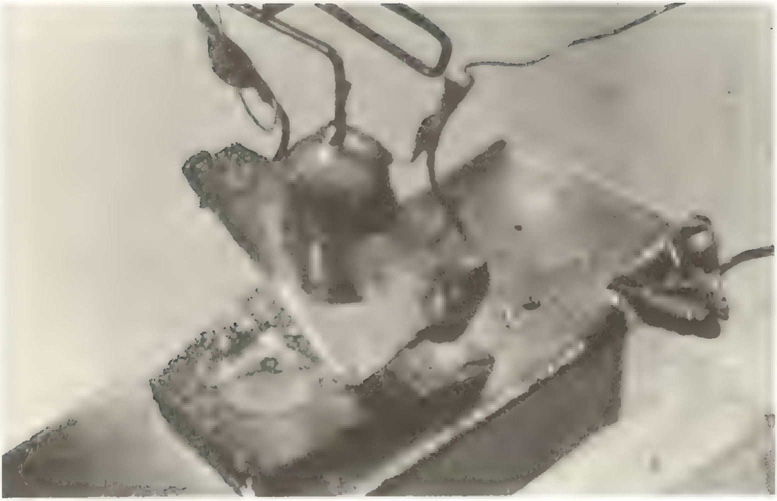
なんと精密で多様な技術が……

シリコンに不純物（伝導物質）を注入するには、幾通りかの方法がある。まず、ガス拡散法という化学的な方法。窓の開いたシリコンを高熱炉の中に密封し、炉の中に目的の不純物をガスにして流すと、窓から不純物質が拡散浸透して、窓の中のシリコンだけが設計通りの伝導性を帯びるという方法である。西条工場でも、三五〇工程の中の幾つかの工程ではこの方法をとっている。クリーンルームの中には拡散炉が並んでいた。

もう一つの方法は、不純物をガス状のイオンにして加速器で結晶表面から物理的に撃ち込むのである。テレビ用の試作には、このイオン注入法が使われた。

真空放電で不純物のガスをイオンに変える装置。必要なイオンだけを選り分ける巨大な電磁石。一〇万ボルトの電圧をかけてイオンを銃弾のように撃ち出す加速装置。単位面積当たりに注入するイオンの数を一桁のレベルまで設定できる制御装置。長さ五メートルもあるイオン走行通路。その通路の先にシリコンをセットする釜がある。それらは、二つの部屋にまたがるほど大きなシステムであった。

まず、酸化膜に窓の開いたシリコンを回転台に取り付け、釜の中に入れる。装置全体の真空度を上げるため、液体窒素でイオンの通路を丹念に冷却する。不純物ガスのボンベをセットし、制御装置の数値をセットし、イオン発射。一瞬ブーンという音がしただけで操作は終了した。これでシリコン結晶に開いた窓の下だけ不純物イオンが激突し、めりこんで内部に電気的性質の違う領域ができたのである。工場でもイオン注入は重要な工程であったが、装置のほとんどがクリーンルームの外に出ており、システムの全貌はまったくうかがい知ることができなかった。



1947年ベル研究所で発明されたトランジスタ

こうして、必要な部分だけに伝導物質(不純物)をイオンの形で撃ち込むことができた。これでトランジスタの機能をシリコン内部につくり込むことができたわけであるが、必要部分から電気の出入り口をつけてやらねばならない。

そこで再びこれに酸化膜をつけ、感光剤を塗り、電気通路用のマスクを重ねて露光し、酸化膜に穴をあけ、今度は前面に金属膜を真空蒸着させ、感光剤を塗り、配線用のマスクを重ねて露光。不要部分を化学処理で除去すると、酸化膜の上に配線だけが残ってトランジスタが完成するのである。

なんと精密で多様な技術を駆使しなければできないものか。なんと多くの高熱炉やガスや薬品を使うことか。そして、なんと大量の純水を使うことか。一〇〇万個のトランジスタの中の一個を手づくりで試作することで、私たちは半導体工場のブラックボックスの中をかいま見ることができた。これらの微妙で高度な数々の技

術を、あのロボットたちがこなしていたのである。

さて、ここまで来ると現代のシリコンチップには膨大な数のトランジスタが搭載され、それをつくることがいかに多様で高度な技術に支えられているかを実感できたのではないだろうか。では、こうした技術はいかにして生まれ、どのようにして発展してきたのだろうか。

写真は一九四七年、アメリカのベル研究所で発明されたトランジスタである。超ＬＳＩに一〇〇万個もつくり込まれているトランジスタは、これとは動作原理が違うものであるが、現代の電子社会はこのトランジスタの誕生から始まった。それはだれがいかにして生み出し、そこにはどのような人間ドラマが繰りひろげられたのだろうか。そして、トランジスタはどのように発展して、現代の半導体産業に到達したのだろうか。また、日本人はいかにしてそれらを学び、吸収し、ついに越えることができたのか。その軌跡を次章からたどることにする。

第2章

トランジスタの誕生

■グラハム・ベルの夢

前章「新・石器時代」で見てきたように、現代世界を根底から支えているのはシリコンという半導体物質であり、それを無数の超先端技術で処理することで魔法の石に変えていることを私たちは知った。それは驚嘆すべき事柄の連続であった。

では一体、こうした技術を生み出し築き上げたのは、どういった人たちだったのか。そして、どのような時代を背景にして、どのような努力の末に実現したのか。また、日本の科学技術者や産業人はそれをいかにして学び、身につけていったのか。私たちはまず半導体前史について調べることにした。以下は、読んだ文献や資料を手短にまとめたものである。

この作業を通じてわかったことは、半導体技術の発達は電話事業の発達と非常に深くかかわっていたことである。極端な言い方をすれば、半導体そのものを必要としたのも、それを生み出したのも、そして育てたのも、アメリカ電信電話会社「AT&T」の前身ベル電話会社の事業的要請であった。では、話を一九世紀の後半に戻してみよう。

グラハム・ベルが電話を発明したのは一八七六年三月一〇日のことであった。

それは、炭素の粒子が詰まった送話器と電磁石と薄い鉄の振動板でできた受話器を電池でつないだだけの簡単な電話装置であった。送話器と電池をベルのいる実験室に置き、離れた別の部屋に助手のトーマス・ワトソンが受話器を耳にあてていた。ベルが大声で送話器にどなった。「ワトソン君、用事があるからちょっと来てくれたまえ」。ベルはこの直前に酸が入っている瓶をひっくりかえしてズボンをぬらしたため、思わず実験を忘れて助手を呼んだのであった。受話器でベルの声を聞いた助手のワ

トソンが興奮して駆けてきた。電話が声を遠くに伝えた瞬間であった。

ベルの声は空気を振動させ、空気の振動が送話器のカーボンを振動させる。するとカーボン粒子は声の強弱に比例して疎密になり、そこを通過する電流に強弱を与える。声に比例して変化させられた音声電流が、電線を伝わって隣の受話器にやって来る。それが中の電磁石に流れ、磁石の吸引力が変化する。電磁石の薄い鉄板は電流の強弱に応じて振動し、これが空気に伝わり声が再現される。こうして声を電気信号に変えることで、遠くに送ることが可能になった。ところで、ベルが発した「ワトソン君、ちょっと」という言葉は、ベル・システム（AT&Tの前身）の技術的成果を表す象徴的な言葉となり、ベル電話会社が画期的な業績を上げる度に使われることになる。

この日ベルは、イギリスに住む母親に、やがて水道管やガス管のように電話線が家々を結び、人々は家に居ながらにして遠くの人と話ができるようになるだろうと書き送った。彼は自ら発明した電話をアメリカ全土に普及させて、どこに住んでいても互いが電話で話のできる電話社会をつくろうと考えた。

一八七六年、ベルは特許を申請。翌一八七七年に特許が下り、それを管理するための「ベル電話会社」が設立された。これが後に全米の電話網を支配するアメリカ電信電話会社AT&Tの前身であった。彼が最初につくった電話局は、一五〇メートル離れて置かれた二台の装置を電線でつないだだけのものであった。次いで、一八七八年にはコネチカット州ニューヘブンの町で二一の加入者を相手に交換業務を開始した。これを皮切りに各地に電話局を新設するが、なにしろ信号電流が遠くに届かない。音声電流は電線を通っていくうちに減衰して受話器を動かせなくなった。電線の中を通る音声信号は距離が離れるほど急速に減衰していく。短ければほとんど無視できる電線の電気抵抗が距離に比

例して大きくなり、音声電流の通過を妨げた。それだけでなく、途中で音声電流が漏れて逃げることも、減衰の大きな原因であった。したがって音声電流を遠くに送るためには、減衰した音声電流を何かの方法で再び強くしてやる必要があった。電線が一定距離延びるごとに弱った音声電流を強くする手段が必要である。これができないかぎり、電話は狭い地域の通話手段にすぎない。ベル電話会社が当初は地域毎に独立した電話網をつくっていった理由はここにあった。全米に電話網を張りめぐらしたいというベルの事業目的は、音声電流を増幅する装置の登場なしには絶対に不可能だったのである。それを可能にしたのが一九〇六年、ド・フォレストの手で発明された三極真空管であった。

ここで真空管の発達に目を向けてみよう。文科系の私にはまことに弱い分野であるが、素人の理解ながら最低限の動作原理を伝えることにする。電球を発明したエジソンは一八八三年、フィラメントの周りを金属の網で囲んだ。白熱灯のガラスの内側が黒く汚れるのは、フィラメントから飛び出る微粒子がガラスに付着するからだと彼は考えた。だから、電球が黒くすすけて暗くなるのを防ぐには、フィラメントを網で囲って、微粒子を網に付着させればよい。この実験で、フィラメントから飛び出ているのは電子だと気がついたのである。彼はこれをエジソン効果と呼んだが、その応用までは考えなかった。

二〇年後の一九〇四年、ラジオ通信の研究をしていた英国の電気工学者ジョン・フレミングは、エジソン効果の追試実験をした。彼はフィラメントを囲む金属筒をプレートと呼んだが、プレートに電圧をかけるとフィラメントとプレートの間に、電気が流れたり流れなかったりする現象に遭遇した。プレートをプラスにすると電気が流れ、マイナスにすると流れない。そこで、これを検波器として使った。電波の高周波電流を耳に聞こえる音声電流に変えたのである。これが二極管の発明であった。

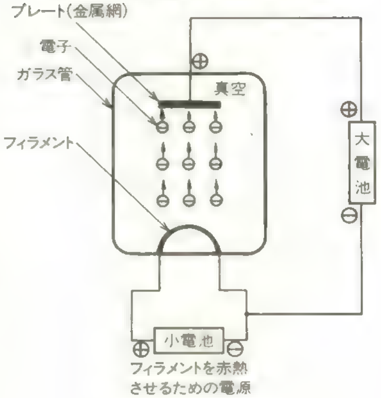
二極管が登場した二年後の一九〇六年、アメリカの電気技術者でラジオの父と呼ばれたド・フォレストは、フィラメントとそれを囲むプレートの間にもう一層の円筒状金属網を設置し、それをグリッドと呼んだ。グリッド電圧を変化させると、フィラメント・プレート間の電流がグリッド電圧に比例して変化したのである。グリッドの電圧に微小な変化を与えると、フィラメント・プレート間の電流は比例して大きく強力に変化した。グリッドの微小な電圧変化はフィラメント・プレート間の巨大な電流変化になって現れるというわけである。グリッドに微小な音声信号を与えると、同時にフィラメント・プレート間の電流が大きく変化した。その電流変化が回路につながる大きなスピーカーを動かした。ベル電話会社が待ちに待った「増幅装置」の登場である。

■ 真空管の動作の仕組み

さて、ここから記述するのは文科系のテレビ担当者が、真空管の動作原理をブラウン管の向こうのお客様に伝えるにはどうしたらいいものかと、悩んだ末の表現である。

図3は二極管の図である。この図ではフィラメントとプレートの間隔が非常に離れているが、実際の真空管では中心部にフィラメントを置き、数ミリ離れて円筒状のプレート（金属網）が囲んでいる。ここでフィラメントに、「小電池」をつなぐと、フィラメントには電流が流れて電球と同じように赤熱する。この状態でプレートに「大きな電池」のプラスを、フィラメントにマイナスをつなぐと、フィラメントで活発になった電子が、プレートに引きつけられて飛んでいく。なぜなら、電子は電気的性質がマイナスの粒子であり、プレートには高い電圧のプラスがつながっているから、電子はプラス電

図3　二極管の動作原理



位のかかっているプレートに引っぱられて飛んでいくというわけである。

かくて、この状態ではフィラメントから次々と電子がプレートに流れ、プレートから大電池のプラスに流れつき、新たにマイナス側からフィラメントに電子が供給される。

文科系としては電池とかプラス・マイナスまでは許せるとして、「電子」とか「回路」といった言葉にはアレルギーがある。しかし、やはり使わないわけにはいかない。私たちは「電子」を原子核の周りを回るマイナスの粒子で「電気の運び屋」と理解し、「回路」は「いろいろな電気部品を導線でつないだもの」と理解した。だから図3も「回路」であるのは当然である。それでは、これを「A回路」としよう。

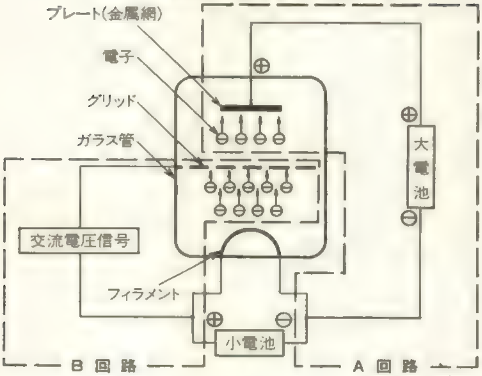
今度は「A回路」の中の大電池を逆さにしてみよう。プレートにマイナス、フィラメント側にプラスとつなぐのである。すると、マイナス粒子の電子はプレートのマイナス電位に反発して流れが止まり、したがって電流も流れなくなる。つまり二極管には、プレートにプラスの電圧をかけたときだけしか電気を流さないという「電気の一方通行」性がある。

この二極管のプレートに交流電圧をかけてみよう。プラスとマイナスが交互に反復して流れるのが交流である。これをかけると、フィラメントとプレートの間には、プレートがプラスのときしか電気

が流れないから、交流のプラス成分だけを取り出してくれる。つまり、二極管は交流の「整流器」になる。念のために触れておくと、家庭用から産業用まで一般に使われている電気が交流電源で、自動車のバッテリーや大小の電池は直流電源である。この「電気の一方通行」性を、電波など高い周波数の電流を整流することに使ったのが「検波器」である。二極管をフレミングが検波に使ったのは、「電気の一方通行」性を利用したのであった。

図3と図4を見比べていただきたい。図3のフィラメント・プレート間にグリッドという金属網が取り付けられている。実際の真空管では中心部のフィラメントを数ミリ離れてプレートが囲んでいるが、グリッドは、その狭いフィラメント・プレート間に円筒状の金属網として取り付けられている。

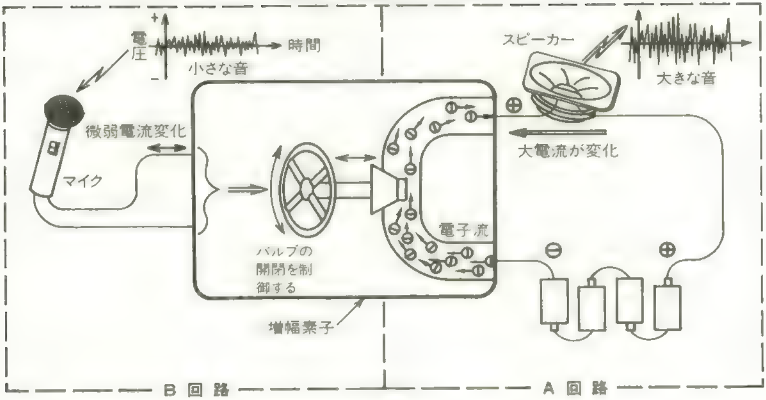
図4　直熱型三極管の動作原理



さて、先に説明したような回路は破線で囲った右側である。これを約束通りA回路とする。A回路にはプラスの電圧がかかっているから電流が流れている。大事なことはA回路には「大きな電池」がつながっているから、ものを動かすに充分なほど「強力な電流」が流れていることである。これが理解の重要なポイントである。

ここでグリッドに、わずかなマイナス電圧をかけてみよう。すると、マイナスの性質を持つ電子はグ

図5　増幅作用の原理



リッドに反発して立ち止まる。つまり、A回路を流れていた電子は減少し、電流は弱くなる。次に、グリッドにプラス微小電圧をかけてみよう。電子はプラスに引きつけられてドッと流れ、A回路の電子は激増して電流は強くなる。

こうしてB回路のグリッドに与えられた微弱な電圧変化は、A回路の「強力な電流」を、B回路の変化と同じように変化させる。B回路では仕事のできないほど「微弱だった変化」が、A回路に影響を与えることで仕事をするほど「強力な電流」変化となって現れる。B回路に減衰した音声電流を流せば、A回路には充分回復した電流となって取り出せる。B回路にカーボン・マイクで音声を微小電流の変化に変えてやれば、A回路には同じ変化の強力電流が流れ、それがスピーカーを鳴らすことができる。これが増幅の原理であった。

もし、これをテレビで説明するときには大きな模型をつくる。中心に真空管を置き、その左

にB回路、右にA回路を対置させ、B回路には小さな豆ランプ、A回路には一〇〇ワットの大電球をつなぎ、左の弱々しく明滅する豆球の光が、右の大電球には同じ変化として明るく明滅するように工夫しよう。大事なことはA回路の「大きな電池」を強調することだ。なぜなら、「強力な電流」の供給源を印象づけておく必要がある。最後に、グリッドの役割をどう表現するかということだ。A回路という水路を開け閉めするバルブか、A回路の流れにつくられたせきの水門か、いや交通信号という表現もある。一方通行の巨大電流A回路。その途中に設置された、微弱な電気で働かせるB回路という交通信号。B回路で制御される交通信号に応じてA回路の巨大電流が変化する。「微弱電流の回路Bが巨大電流の回路Aを制御する」ということではないだろうか（図5）。こうした表現上の試行錯誤は、次に来るトランジスタの原理を理解する上で非常に役に立ったのである。

電話網は大陸を横断したが……

一九〇〇年、ベル電話会社は地域ごとにつくった二一の電話網を接続統合し、あわせてウエスタン・ユニオン電信会社も合併吸収して、アメリカ電信電話会社AT&Tに脱皮した。地域の電話網を縦横につないでアメリカ大陸全土にわたるネットワークをつくり上げる技術的背景は、真空管の積極的利用にあった。

一九一三年から一九一五年にかけて、大陸横断電話回線がニューヨークとサンフランシスコの間に引かれた。三極真空管を使った七つの中継機を途中に設置し、減衰した信号電流を一定区間ごとに増幅しながら大陸を横断させる仕組みであった。回線は一九一五年に完成し、その年サンフランシスコ

で開催された博覧会の会場で大陸横断通話の実演が観客の前で行われた。会場に設置された電話機とニューヨークにいるグラハム・ベルとの間で最初の通話が行われた。電話機の前にはかつての実験助手トーマス・ワトソンが技術責任者として待機していた。ベルが再び送話機に向かって「ワトソン君、来てくれたまえ」と叫んだ。ニューヨークから四五〇〇キロ離れた会場のワトソンが叫び返した「今度はそちらに駆けつけるのに五日かかりますよ」。こうして電話網が大陸を横断した。

ところで、AT&Tの前身ベル電話会社は電話機製造会社のウエスタン・エレクトリック（WE）社を買収して、AT&Tの機器を専門に製造する会社にした。同時に、AT&TとWE社の共同出資でベル研究所を設立、電話事業に関する将来の研究開発に専念させた。莫大な電話収入を潤沢に新技術開発に注ぎ込み、多岐にわたる革命的な技術がここから生み出されていくのである。ベル研究所が先端技術を開発し、それをWE社が量産し、それをAT&Tが使ってアメリカの電話網は拡充の一途をたどったのである。

やがて彼らは真空管の限界に気づいた。真空管にはタマ切れを起こすという致命的な欠陥があった。内部のフィラメントが電球と同じように、いつかは焼け切れる運命にあった。ネットワークに膨大な数の真空管を使うため、そのどれかが切れる心配が常につきまとった。

増幅と並んで電話回線網の拡充を妨げるもう一つの障害があった。膨大な数の電話加入者の中の通話者同士だけをつなぎ合わせる交換業務。当初は交換手が電線の端末同士をつなぎ合わせた。すぐに端末は交換台パネルにつくられた無数の受け口につながれ、交換手が電話線の受け口同士にプラグのついた電線を差し込んで接続するようになった。やがて、これが無数のリレースイッチに変わっていく。ところが、このリレースイッチには接点があり、それがスイッチ開閉の度に電気の火花で腐食し

た。増幅装置としての真空管に寿命があるように、交換機の心臓部リレースイッチ群にも寿命があった。やがて登場するトランジスタは増幅装置として使われたのは当然だが、同時に機械的接点のない電子的スイッチとしても使われるのである。だから、ベル電話会社がトランジスタの登場を強く待ち望んだのも、電話事業者としては当然であった。

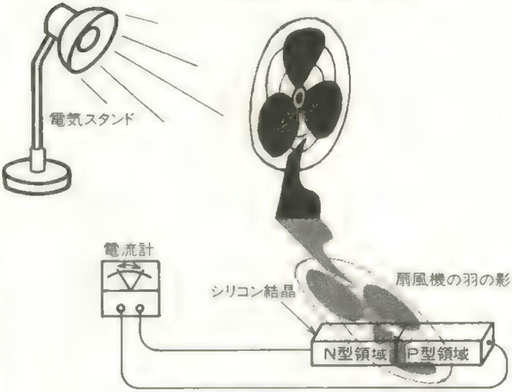
■電気を起こすシリコン棒

一九三〇年代に入ると、ベル研究所の技術者たちの目は、信頼性に乏しく、大きく、重く、高価な真空管から次世代の技術に転じていた。研究総括責任者のマービン・J・ケリーは固体素子の研究に従事させる物理学者を物色し始めた。こうして一九三六年、マサチューセッツ工科大学（MIT）を卒業したばかりだったウィリアム・ショックレーがケリーの目にとまった。後に彼こそが半導体の歴史を大きく変えていくのである。

ケリーは入所したての若いショックレーをわざわざ訪ねて熱っぽく説いたという。ショックレーは後にそのときの様子を書き残しているが、当時研究部長をしていたケリーは語った。真空管の増幅装置がいかに信頼性に乏しく壊れやすいか。電話交換機のリレースイッチの接点が、いかに故障が多いか。アメリカ全土に電話網を拡充するには、固体素子の開発しか方法がないこと。そして、それをやり遂げることができるのはショックレーしかいないのだと。これがショックレーの一生を決めた。彼はケリーの熱弁に深い感動を覚え、半導体研究に一生を捧げようと決意するのである。

一九三〇年代の末、ベル研究所の無線研究のグループは波長の短い電波の送受信を研究していた。

図6　シリコン結晶の光起電力効果



彼らはやがてレーダーの開発に貢献するが、その過程で短い波長の電波を検波する新しい方法を模索した。真空管は短い波長の高周波に対しては感度が悪かった。フィラメントから放射される電子が空間を飛んでプレートに到着するといった悠長な動作原理の真空管では、波長の短い電波に対処できなかった。彼らは思案の末、真空管登場以前の技術に回帰した。半導体の一種である方鉛鉱で点接触検波器をつくり、レーダー波の周波数領域で試してみた。すると、これが真空管よりも優れた特性を発揮したのである。

一九三九年までに、ベル研究所の化学者ラッセル・オールは一〇〇種類に及ぶ鉱石をテストし、その結果レーダー波を検波する鉱物としてシリコンに的を絞っていた。その年の九月、彼は冶金専門家にシリコン結晶の製造を依頼し、直径〇・三ミリ、長さ二・五センチの細いシリコン棒をつくってもらった。翌一九四〇年のある日、そのシリコン棒が光に当たると電気を起こすことに気がついた。

電気スタンドとシリコンの間で扇風機が回っていた。扇風機はゆっくりと回り、その羽根が一定周期でシリコンの上に電灯の影をつくっていた。オールは円筒状シリコンの両端にリード線をつなぎ、それを測定器につないだ。とたんに計器の針が扇風機の回転に合わせて動き出した。シリコンに影が

できると針は下がり、光が当たると針が大きく振れる。「シリコンの光による起電効果」の発見であった。(図6)

さらによく調べていくと、シリコンは真ん中を境に左と右では電気的性質が異なっていることが判明した。オールと治金専門家のジャック・スカッフは、二つの領域をそれぞれN型領域、P型領域と名付けた。N型領域は電子が多く存在する領域であり、P型領域は余分な正孔が多く存在するプラス領域であると彼らは考えた。

導体、不導体、半導体

さて、話がまた難しくなってきた。真空管では赤熱フィラメントから飛び出る「電子」が「電気の運び屋」であった。ところが、半導体ではもう一つの運び屋として「正孔」というものが登場する。「電子」と「正孔」の両方が「電気の運び屋」だというのである。それにしても「正孔」とは一体何のことだろうか。素人にはまことにつかみ難い概念であった。以下の記述も、悲鳴を上げながら読んだ入門書の素人的ダイジェストである。

あらゆる元素は原子核とその周りを回る電子から成り立っている。どの元素も中心に原子核が一個存在しているが、その周りを周回する電子の数は元素によって異なる。水素は原子核一個に対して電子も一個だが、シリコンは一四個、ゲルマニウムは三二個といった具合である。しかも、それらの電子は無軌道に原子核の周りを動いているのではなく、決められた周回軌道上を回っている。周回軌道は宇宙における惑星軌道のように、原子核を中心に第一軌道、第二軌道、第三軌道というように何層

にもなっていて、各軌道ごとに電子の収容数が決まっている。第一軌道は二個、第二軌道は八個、第三軌道は一八個、第四軌道は三二個、と増えていく。シリコン原子は一四個の電子を持っているから、第一軌道に二個、第二軌道に八個、第三軌道に四個存在する。ところが、第三軌道の収容能力は一八個だから、一四個分のスペースが残っていることになる。そこで、余ったスペースに隣接する原子の電子四個が入り込み、互いにガッチリと手をつなぐ。この状態では、電流の運び屋たちの電子は動けないから、電気を伝えるという仕事ができない。だから、この状態ではシリコンは不導体（絶縁体）である。ただし、この状態、つまり原子同士が完全結合するのは超低温の零下二七三度付近での話で、常温での結合はゆるんでおり、移動可能な「自由電子」つまり「活動可能な運び屋」、あるいは「伝導電子」が結構存在するというのである。

さて、ある物質が電気を伝えるか伝えないかという伝導度は、この「自由電子」の数によって決まる。導体か不導体か、はたまた半導体かは「自由電子」の密度によって決まるというのである。典型的な導体である金属は、「自由電子」が一立方センチ当たり一〇の二三乗個ほど存在する状態にあり、半導体物質ではその一〇兆分の一ほどしか「自由電子」が存在しない。「自由電子」の密度がこれよりさらに小さくなると不導体になる。

電気の運び屋「自由電子」が結合の絆を断ち切って飛び出ると、そのあとにはぽっかりと穴があく。これが軌道上に生まれたスペースであるが、そこを目がけて隣接する原子から電子が移動してくる。すると、移動した電子のあとにまたスペースがあくから、結局電子の移動によって次々とスペースがあいていく。これは電子の移動方向とは逆方向に動いていく。こうした「自由電子の移動によって生まれるスペース」を「ホール」とか「正孔」と呼び、これは一見プラスの電気を帯びた粒子のように

移動するので、これもまた「電子」とともに「電気の運び屋」と言うのだそうである。

そして、N型領域というのは「電子」が多く存在する状態を言い、P型領域とは「正孔」が多く存在する状態であり、それらが同じ半導体結晶内で隣接すると、光照射によって「自由電子」の活動が活発になり、N型の「電子領域」からP型の「正孔領域」に「自由電子」が移動できる状態になり、PN両面を線でつなげば電子の流れが起き、したがって電流が発生するというのである。後にこれは太陽電池の開発につながっていくが、オールとスカッフは偶然に遭遇したシリコンの「光・起電現象」から半導体物質の探究に入っていくのである。

やがて、ヘンリー・セウラーとスカッフは次のような発見をした。ごく微量(〇・〇一パーセント以下)のホウ素を、溶融した純粋シリコンに加えて冷やすとP型の性質になる。同じ方法でリンを加えてやるとN型の性質になる。添加する微量物質の種類で、シリコンの電気的性質をP型にもN型にも変えられることを発見するのである。リン、アンチモンなどを添加すると半導体はN型に変わり、ホウ素、アルミニウム、インジウムなどを添加するとP型に変わる。純度を上げて不純物を徹底的に取り除いた半導体に、必要に応じた物質を微量加えることで、その電気的性質をN型にもP型にも変えることができる。これが半導体技術を飛躍的に発達させる基本技術になるのである。すでに第1章「新・石器時代」で見たように、現代のシリコン産業でも単結晶製造のときは必ず設計に従って微量の伝導物質を添加する。技術者たちはこの作業を不純物の添加と言うが、その技術の発端はセウラーとスカッフの発見から始まったのである。

ショックレーがグループリーダーに

第二次世界大戦の勃発と同時にベル研究所は大増員され、一九四五年までに研究員は八〇〇〇人にふくれ上がっていた。その大半がレーダーの開発に集中し、半導体の研究はなおざりにされた。終戦の前年一九四四年、マービン・J・ケリーが副所長になり、大機構改革を断行。固体素子物理学の基礎研究を強力に推進することにした。彼はショックレーをグループのリーダーにすえ、ショックレーがジョン・バーディーンをスカウトした。

一九四五年、第二次大戦が終わると半導体の研究が再開された。何人もの専門分野の人材が投入され強力な支援体制がとられたが、固体増幅の研究は三人の科学者を中心に進められた。全体を統括するリーダーのショックレー、実験を担当したウォルター・ブラッテン、理論解析を担当したバーディーン、いずれも博士号を持つ科学者であった。ベル研究所の採用条件は博士号を持っていることであった。

ショックレーは一九一〇年ロンドンで生まれた。父は鉱山技師、母が地質学者という科学者夫妻の一人息子である。やがて、両親がサンフランシスコの南五〇キロほどのところにあるパロアルトに住むようになる。現在のシリコンバレーと呼ばれる地帯の北のはずれ、サンフランシスコ側にある町である。彼はここで育った。その後MITで「固体の中の電子の挙動」で学位を取り、一九三六年ベル研究所に就職した。ベル研究所では最初真空管の研究部門に配属されたが、粘って半導体部門に転属し「固体による増幅装置の研究」に没頭するようになる。

実験ノート一九三九年一二月二九日のページには、「きょう、真空管ではなく半導体を使った増幅器

実験に没頭するショックレー（手前）、バーディーン（中央）、ブラッテン（右）

が原理的に可能だという考えに到達した」と記されている。このとき以来、彼は試行錯誤と失敗を重ねながら、半導体による増幅素子の研究を進めるのである。

実験を担当したブラッテンは、一九〇二年ワシントン州で農場を営む一家に生まれた。オレゴン大学を卒業後、一九二九年ミネソタ大学で学位を取得し、当時新設されたばかりのベル研究所の研究員として採用された。ベル研究所ではノーベル賞を受賞した物理学者デーヴィソンのもとで半導体の研究に従事した。

理論を担当したバーディーンは、一九〇八年ウィスコンシン大学の医学部長の息子として生まれた。ウィスコンシン大学工学部を卒業後、石油会社ガルフ・オイルに就職したが、三年後プリンストン大学に再入学、ノーベル賞受賞者のユージン・ウィグナーの下で半導体の研究に専心した。一九三六年博士号を取得後、ミネソタ大学で教鞭をとり、戦時中は海軍兵器研究所で潜水艦探知の研究に従事した。戦

後の一九四六年、ショックレーに誘われてベル研究所で半導体の研究に従事するようになる。固体による増幅現象の発見でブラッテン、ショックレーとともにノーベル賞を受賞。その後、超伝導の研究に転じたいとベル研究所に提案するが容れられず、ベル研究所をやめてイリノイ大学で教職についた。やがて一九七二年、彼は超伝導の研究で二度目のノーベル賞を受賞する。

バーディーン博士の証言

一九九一年一月三〇日、バーディーン博士はボストンの病院で心臓発作のため他界した。享年八二歳であった。前年五月にアメリカのイリノイ大学に博士を訪ねたときは足は弱っておられたが、まだ元気な様子であった。研究室は、これがノーベル賞を二度も受賞した偉大な学者の部屋かと思うほど質素であった。うなぎの寝床のように細長い部屋にスチール机と蔵書の棚が置かれ、壁はコンクリートの生地むき出しのままペンキで青く塗られていた。インタビューには愛弟子のホロニャック博士が立ち会った。耳が遠くて、しかもけっして話が上手ではないバーディーン博士の、耳となり口となるために駆けつけたのだということであった。

博士が逝去された直後、イリノイ大学から一時間半に及ぶインタビューの録画テープを寄贈してくれないかという打診があった。博士は生前テレビ取材があまり好きでなく、長時間インタビューにはほとんど応じたことがなかったというのが理由であった。

——研究室には毎日いらっしゃるのですか?

バーディーン　町にいるときはほとんど毎日来ています。昔ほど長い時間はおりません。朝は遅

く来て、夕方は早めに帰ります。

——研究は今でもなさっているのですか。

バーディーン　もちろんです。毎年発表する論文の数も一定の数を保っています。論文の数は減っていません。

——今は何の研究をなさっているのですか。

バーディーン　数年前に発見された新しい高温超電導に関していろいろ調べています。

博士のしゃべり方は、小さな声で非常にゆっくりとした口調であった。ぶつぶつとつぶやくように、しかも切れ間なく、専門的で詳細な話が続いていく。素人の私たちには、どこが大事で、どこが聞きどころなのか見当もつかない。困惑する私たちの表情をすばやく読み取ったホロニャック博士が、恩師の話の要点を大きな声で明快に解説してくれた。それを見てバーディーン博士は満足したように笑みを浮かべながら愛弟子の説明に一つ一つ相づちを打っている。ホロニャック博士の解説をさらに要約するとこうである。

インタビューに応じてくれたバーディーン博士

第二次大戦が終わって半導体の研究を再開したとき、博士たちはゲルマニウムとシリコンを選んだ。それは両方とも戦時中に検波器や整流器として実用化が進んでいて、相当高い純度の結晶が手に入ったからだという。

固体増幅素子研究の中心的な存在はショックレー

博士であった。仕事はおおむね、ショックレー博士が考えたアイディアを次々と実験によって確かめていくことだった。無数のアイディアが試された。あるときショックレーは、薄い半導体に強い磁場をかけることで半導体に流れる電流を制御しようと考えた。実験をブラッテンが担当したが、完全な失敗に終わった。磁場では半導体の中を流れる電流を制御できなかったのである。次に磁場ではなく電界をかけてみることにした。

バーディーン　ショックレーは半導体を抵抗器として使い、これに電界をかけると内部抵抗が変わるに違いない、それを利用すれば固体も三極管と同じ働きをする増幅装置ができるのではないかと考えました。三極管というのは本質的には電気のバルブなのです。フィラメント・プレート間を流れる大電流を、グリッドという電気バルブで変化させてやることで、電気信号を増幅しようという装置ですが、固体物質の半導体でも同じことができるはずだとショックレーは考えました。電界効果型増幅素子と呼ばれる仕組みがそれでした。

点接触型トランジスタの発明

図7はバーディーン博士に聞いた説明図である。例によって、素人としてこれをどう理解したかを記述する。まずA回路、B回路に分ける。ゲルマニウム結晶の両端に大きな電池をつなぎ、これをA回路とする。次に結晶表面に絶縁膜を塗り、その上に金の薄膜を蒸着させ、これに電池の回路をつなぎ、B回路とする。ここでB回路に信号電圧を加えると、その変化に応じてA回路を流れる大電流が、同じように変化するだろうと考えたのである。しかし、この試みは成功しなかった。その理由につい

てバーディーン博士が仮説を立てた。半導体の表面が電子を捕まえてしまうため、電流の流れを制御できないのではないかという「表面状態の理論」である。一九四七年一二月初旬、バーディーンとブラッテンは先に失敗した電界効果トランジスタの改良に取り組んだ。

バーディーン　ゲルマニウム表面に絶縁層を塗り、その上に金を何か所か蒸着させることによって、今から見れば、電界効果型固体増幅素子をつくろうとしていました。金を点のように蒸着させ、その中央に小さな穴をあけました。金の蒸着膜を一つの電極とし、中の穴からもう一つの電極針を接触させようとしました。ところが、よく観察すると、金の蒸着膜は下の絶縁膜を破って直接ゲルマニウム表面に触れているようでした。また、中の穴も何かの理由で埋まっていました。それで電極を金の蒸着点にできるだけ近いところに下ろしました。ところが、電界効果で予測されるのとは反対の方向に電気が通っていたのです。ですから、何か新しいことが起きているのがわかりました。

博士の記憶によれば、それは一二月一一日のことであった。物理化学者のロバート・ギブニーがゲルマニウムのサンプルを用意した。

図8・右のように、ゲルマニウムはN型にしてあった。ギブニーはゲルマニウムの上に金の丸い点を

図7　電界効果トランジスタの考案

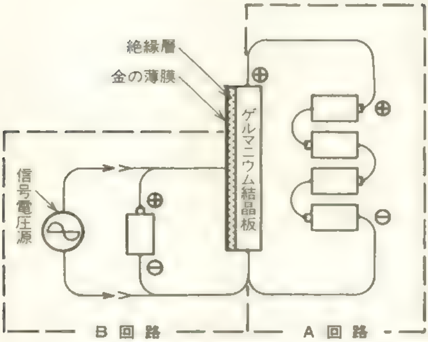
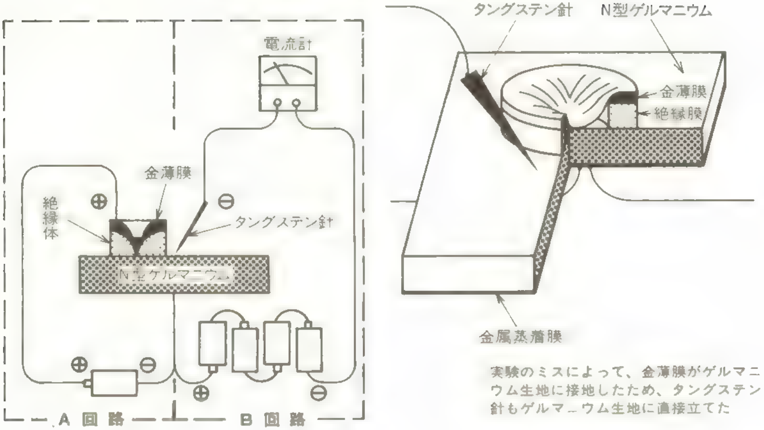
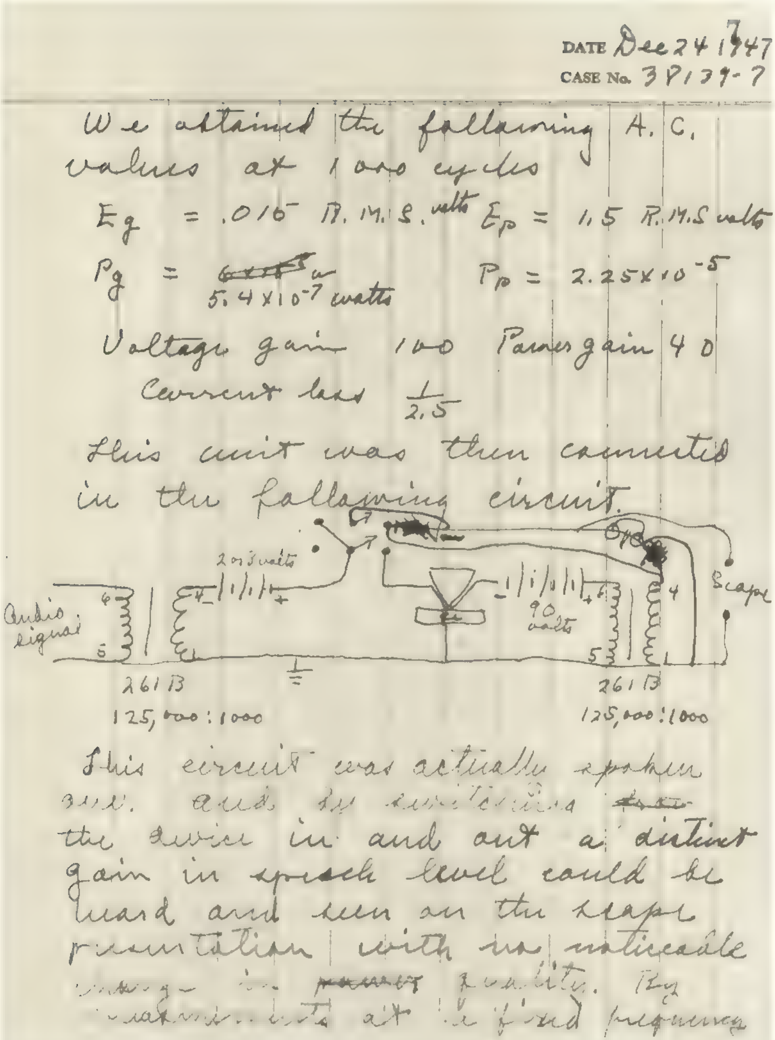


図8　基本的な固体増幅素子の発明



蒸着させ、真ん中に小さな穴をあけた。その穴の中心点からゲルマニウムの生地にタングステンの針を接触させるはずであった。ところが、ブラッテンの持つ針が誤って金に触れた。金と針の間に火花が飛び、穴がふさがり、穴の中心点に針を下ろすことができなくなった。ブラッテンはあわてて針を金の蒸着点からはずし、ゲルマニウムの生地に直接立てた。これは、結果的にゲルマニウムの表面に至近距離で二個の電極を触れさせるのと同じことになった。タングステンの針がゲルマニウムの表面に触れたとたん、金とゲルマニウムの間に大きな電流が流れた。なぜなら、金の蒸着膜とその下の絶縁膜も実験途中の火花でショートし、金膜がゲルマニウムの生地に直結した状態になっていた。つまり図8・左のように金の膜、ゲルマニウム、小電池の間に回路Aがすでにできていた。あとからタングステンの針をゲルマニウムの生地に接触することで回路Bができ、電流計が振れたと



DATE Dec 24 1947
CASE No. 38139-7

We obtained the following A.C. values at 1000 cycles

E_g = .015 R.M.S. volts E_p = 1.5 R.M.S volts

P_g = ~~6×10^-5 w~~ 5.4×10^{-7} watts P_p = 2.25×10^{-5}

Voltage gain 100   Power gain 40

Current loss $\frac{1}{2.5}$

This unit was then connected in the following circuit.

This circuit was actually spoken over and by switching ~~the~~ the device in and out a distinct gain in speech level could be heard and seen on the scope presentation with no noticeable change in ~~power~~ quality. By measurements at a fixed frequency

点接触型トランジスタ発明時（1947年12月24日）のブラッテンの研究ノート

いうのである。

バーディーンとブラッテンは瞬時に事柄の重大性を理解した。これが固体で信号増幅をする発端であった。バーディーンとブラッテンはこの発見の五日後、一二月一六日には改良型の増幅器をつくって音声を増幅することに成功する。このときはゲルマニウムに接触する二本の電極の間隔は数ミクロンにしてあった。その増幅率が一五倍。ブラッテンは研究ノートに「この回路は会話の質を落とさずに声を増幅できる」と記載した。同じ実験を今度は社内のトップに公開することになった。一二月二三日、クリスマスイブの前日のことであった。

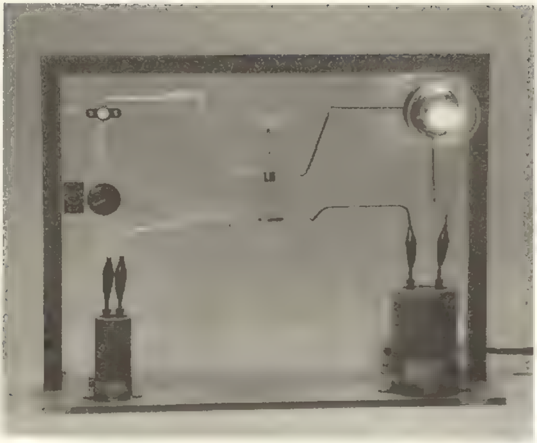
バーディーン　公式な立会人のもとで実験をしてみせた一二月二三日が発明の日付になっていますが、本当は一週間前にすべては終わっていたのです。ですから、クリスマスイブの前日の実験は単なるデモンストレーションでしたが、本当に興奮に満ちた一日でした。極秘の公開実験はすべてうまくいきました。私たちは音声増幅器をつくって実演しましたが、これは可聴周波数帯を超える音声を五〇倍に増幅することができ、立ち会った人々を驚かせました。また、その場にいた人たちから、発振器をつくってオシロスコープでビジュアルに証明するべきだという意見が出ましたので、その場でつくって見せ、これもまた大成功でした。

画期的な実験の再現

バーディーン博士たちが実験した装置の実物がベル研究所に保存されていた(六六ページの写真)。私

たちはあらゆる角度から実物の写真を撮影し、各部の寸法を取った。実物大の復元模型をつくり、あわせて動作原理を説明するための拡大模型をつくるつもりであった。そして何回もつくり直しをしながら、ブラウン管の向こうのお客様に、どうやったら短い時間でバーディーン博士たちが試みた実験をわかりやすくドラマチックに伝えることができるかに腐心した。

バーディーン博士は図面を用意してくれた。バーディーン博士の話と実物写真と図面を参考にしてつくった模型を図解すると、図9のようになる。

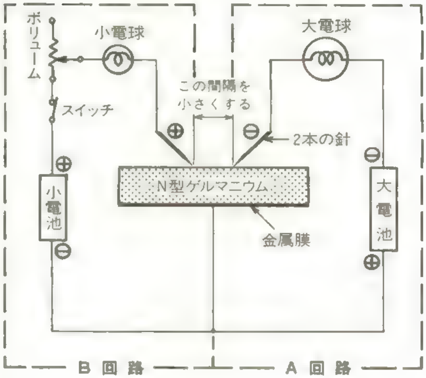


点接触型トランジスタの動作原理を説明するための拡大模型

三角形のプラスチックの縁に沿って二本の針がゲルマニウム結晶の表面に接触している。ゲルマニウムはN型にしてある。その結晶の底には金属膜が蒸着してある。そこから二本の電線が左右に分かれて別々の回路を構成している。右にA回路、左にB回路である。

A回路は大きな電池につながり、その電池のマイナスは大型電球を経由して一方の針につながっている。次に、左側のB回路に目を転じると、同じように針がゲルマニウムの表面に接して小さな電池のマイナスにつながり、電池のプラス電極から出た線がスイッチとボリュームを介して小さな豆電球を経由して針につながっている。

図9　点接触型トランジスタの動作原理



大事な点は、大きな電池につながるA回路と小さな電池につながるB回路は、それぞれ電池のつなぎ方が正反対なことである。この状態では最初、A回路には電気が流れなかった。ところが、B回路の針とA回路の針をどんどん接近させていくと、それまで流れなかったA回路に突然電流が流れ始めた。そしてB回路の電流を変化させると、A回路の電流も変化した。A回路には大きな強力な電池がつながっているから、A回路の電流変化は仕事をするに充分な力を持っている。B回路の微弱な電流変化がA回路の強力電流を同じように変化させたのである。つまり、B回路に減衰した音声電流を流してやると、A回路にはスピーカーを鳴らせるだけの強力な電流変化となって現れる。これが固体による増幅現象の実演であった。B回路の電流をカーボンマイクで「ワトソン君、ちょっと」という音声電流に変えてやると、A回路の拡声器が大きな音で「ワトソン君、ちょっと」と発声したというのである。

さて、これを視覚的に伝えようと考えて、写真のような模型をつくった。まず、手頃な大きさの不透明パネルに各部を取り付けて線をつなぐことにした。不透明パネルを使ったのは、その上にはわせる配線が浮き立って見えるようにと考えたからである。電池も視覚的に一目瞭然となるよう図体の大きな「大きな電池」、図体の小さな「小さな電池」を用意した。ゲルマニウムを画面中心に置き、回路

が左と右に対称的に分かれるように配置した。左の回路を太く白い線で配線し、右の回路を青い線でつないだ。とにかく一目でゲルマニウムの二つの回路が並んでいることを印象づけようとした。

特に事柄をドラマチックに伝えるには、二本の針の動きが大切だと考えた。二本の針がある距離に接近したときに流れるはずのない回路に電流が流れたというのが、固体増幅現象を発見するきっかけになったからである。だから、クサビ形のプラスチックとその縁に沿って下りている二本の針は、さらに部分拡大の模型にした。三角形のプラスチックをゲルマニウム表面に押しつけると、二本の針先が次第に接近していくのが視覚的にわかるようにする。そして「この瞬間、流れるはずのない回路に電流が流れたのです」と説明すれば、ドラマチックな伝達ができるだろう。また、B回路の小さな変化を視覚的に表現するため、見た目も小さい豆電球を明滅させ、それに応じて変化するA回路は大きな一〇〇ワット電球を明滅させた。しかし、これはただの拡大模型だから、両方が同期して明滅するはずがない。これはスタッフが机の下に隠れて、A回路に陰でつないだボリュームを必死で同期明滅させたのである。放送が終わると、模型をどこで入手したかという問い合わせが殺到した。

技術関係者には大きな衝撃

この発表を見たベル研究所首脳部は、まず名前をつけることになった。ゲルマニウム内部を通過して成立するAB二つの回路の一方が他方の抵抗を変えるという意味での「トランス・レジスター」を縮めて、「トランジスタ」と命名された。

トランジスタの誕生を、トップと関係者は極秘扱いにした。軍当局に対しても秘匿し続け、軍関係

者に見せたのは翌一九四八年六月三〇日に行われた一般公開の八日前であった。半年以上もの間、首脳部はトランジスタの学問的将来性や応用技術の展望を検討し、特許手続きの万全を期するための対策を練っていたのである。

バーディーン もちろん最初は世間の人は知りませんでした。特許申請の手続きをしている間は会社の機密でしたので。それから数か月間、私たちは特許申請の準備に追われ、ほとんどの時間を弁護士と過ごしました。あらゆる角度から発明内容と応用面についての検討が続けられ、最初の特許申請が六月になりました。いろいろな書類を周到に準備するのに、これだけの時間がかかったのです。

一般公開は派手な宣伝活動で開始された。ベル電話会社の広報部は八フィート大のトランジスタの模型をつくり、これを車に載せて走り回った。公開はニューヨークの本社で行われ、全国から多くの電気技術関係者がやって来た。専門誌と一般誌の記者も大勢押しかけた。専門家たちの間には大きな衝撃が走った。物理、化学、電気工学などさまざまな分野の研究者たちが興奮して声を上げたが、一般マスコミはその重大性に気がつかなかった。

バーディーン 一般公開はニューヨークのベル研究所で行われました。沢山の報道関係者が取材にやって来ました。専門雑誌の『エレクトロニクス』は、点接触型トランジスタで表紙を飾るほど大きく取り上げました。技術関係者には大ニュースだったのです。ところが、『ニューヨーク・タイムズ』のような一般紙の記者には、この発見の重大さが理解できなかったようで、記事は単調なものでした。

——一般公開で働かせた音声増幅器のマイクには何をしゃべったのですか?

バーディーン　ウォルター・ブラッテンが「ワトソン君、ちょっとこっちへ来てくれたまえ」と言ったと記憶しています。これはアレクサンダー・グラハム・ベルが電話の実験で叫んだ有名な言葉ですが、そのほか際立った言葉は覚えていません。

翌七月一日の『ニューヨーク・タイムズ』の記事は次の通りである。

「トランジスタと呼ばれる装置のデモンストレーションが昨日ベル研究所で行われたが、これは真空管に代わって、ラジオの部品として使われるものである。展示されたのは真空管を一本も使っていないラジオ受信機。ここではトランジスタは増幅器として使われているが、電波を出す発振器として使うこともできる。長さ一インチの小さな金属の円柱であるトランジスタには、グリッドもプレートもない。真空を保つためのガラス管も必要ない。電源を入れれば即座に作動し、真空管のように温まるまで待つ必要もないし熱も出ない」

七月初旬、バーディーンとブラッテンの論文が『フィジカル・レビュー』に載った。そこにはショックレーの名前はなかった。この発見の業績はバーディーン、ブラッテン両博士のものであった。論文ではショックレー博士への感謝の辞が記されていた。二週間後の七月一五日、バーディーンとブラッテン両博士の記者会見が行われた。しかし、トランジスタの発表については論文も記者会見も反響がほとんどなきに等しかった。トランジスタ発明の情報を七か月にわたって隠し続けたベル研究所の情報統制は、こうして竜頭蛇尾に終わったである。

——当時、博士はご自分の発見をどのように評価されましたか。

バーディーン　この発見が大変重要だということは、私たちにはわかっていました。しかし、初めの頃の原価は真空管よりも高かったのです。最初のトランジスタは一つ一五ドルもしま

した。当時、真空管は一つ三五セントぐらいでしたので、価格ではとうてい太刀打ちできませんでした。真空管よりも安いトランジスタをつくれるかどうか、私たちにはわかりませんでした。

――博士の発見が後に世界を変えることを予測なさいましたか。

バーディーン 当時は価格をどれだけ下げられるかということだけが関心事でした。ですから、今のように一つのチップに一〇〇万個ものトランジスタが入る時代が来るとは、まったく想像さえしませんでした。

日本人で最初にトランジスタ発明のニュースに接したのは、元神戸工業の有住徹弥さんと佐々木正さんだったと思われる。神戸工業は後に富士通に吸収されるが、当時は進取の精神に富んだ真空管メーカーで、ここから多くの優れた技術者が生まれ、他の企業に移って行った。後に有住さんは名古屋大学工学部の教授になられた。佐々木さんはシャープに招へいされ、電卓のLSI化に奔走して大きな業績を上げられた。彼は電卓戦争の主役の一人として下巻に登場するが、まだこのときは神戸工業の真空管技術者であった。現在はシャープの副社長を経て特別顧問である。

当時二人は真空管の技術を習得するためにRCAのハリソン工場に派遣されていた。真空管もナス管からST管、GT管、ミニチュア管を経てペン先ほどのサブミニチュア管が登場していた。彼らはその技術を吸収するためにアメリカに滞在していたのである。トランジスタが誕生した直後の昭和二八年春のことであった。二人はRCAの技術者からベル研究所で固体による増幅現象が発見されたという話を聞いてさっそくマレーヒルのベル研究所に駆けつけ、発見者の一人ジョン・バーディーン博士に面会を求め、増幅現象の理論について議論をかわしたというのである。まだ現象が発見されたば

かりで、トランジスタという名前もつけられていなかった。

私たちは佐々木正さん（七六歳）には日本人として最初に、しかもアメリカで、世紀の発見を知ったときの衝撃とか感銘を聞いてみた。だが、彼の記憶には「バーディーン博士と渡り合った」ことだけしか残っていないようであった。もっともこの事実について、私たちはジョン・バーディーン博士に会ったときに聞いてみたが、博士の記憶からは消えていた。

いずれにしても、佐々木さんによれば、このことがきっかけになって神戸工業は日本で最初にトランジスタの研究に着手し、やがて点接触型トランジスタの製造に成功し、それを使ったトランジスタラジオを製作するのである。神戸工業が日本で最初に取り組んだトランジスタ製作の悪戦苦闘ぶりを佐々木さんに聞いてみたが、「ああ、それを語れるのは有住さんですがね、彼は亡くなりました」とそっけなかった。私たちは重要な記録をする前に惜しい人を失っていたようである。

「タイム」1948年7月12日号表紙

多くの日本人技術者が最初にトランジスタの発明を記事で読んだのは、新聞ではなく『タイム』や『ニューズ・ウィーク』などの週刊誌であったという。私たちはその実物をアメリカの古本屋で探し求めた。単に当該記事だけでなく、表紙や広告まで含めて時代の雰囲気まで伝えるにはマイクロフィルムの部分コピーでは充分でなく、ぜひとも実物を一冊まるごと入手して撮影する必要があった。

テレビ担当者がいつも突き当たる困難は、事柄の

多くを映像で伝えなければならないことである。文章にすればたった一行ですむエピソードでも、テレビでは関係当事者を探し出し、肉声の証言を機械で記録し、話の中に出てくる人、場所、ものをさらに執ように追い求め、記録しようとする。事柄を単なる話で伝えるだけでなく、関係するものや資料映像で裏打ちすることで、話の信ぴょう性を強めたり、雰囲気を伝えたいからである。

やがて一冊の『タイム』を探し出した。一九四八年七月一二日号。表紙の人物はクレイ将軍。眼光鋭い顔の背後には熊（ソ連）のシルエットが覆いかぶさるように立っている。将軍の言葉として「私はけっして脅迫には負けない」とあった。全九二ページ。戦勝国アメリカの強さと豊かさと活力が紙面にあふれていた。その中の小さなコラム「科学」が、わずか四〇字四二行でトランジスタの発明を伝えていた。一般マスコミには事柄の重大性がわかっていなかったようだと、バーディーン博士が苦笑した記事の一つであった。

「小さな脳細胞／現代技術の脳細胞は真空管である。年々機械装置は複雑になり、真空管の使用量は激増しているが、真空管は製造工程が複雑な上に、製品はかさばり壊れやすい欠点がある。フィラメントを赤熱させるために時間はかかるし電気も食う。デリケートな電子機器を設計する人たちには、これは大いに困りものであった。ところが、この度ベル研究所が開発に成功し公開実演をしたトランジスタは、真空管のようにガラス管も真空も必要ないのに、真空管と同じ働きをするという極めて小さな脳細胞である。それは小さな缶に入っており、中の構造はゲルマニウム結晶の表面に二本の針が接触しているだけの簡単なものであるが、真空管と同じように増幅器として使えるという画期的な装置である」

第3章

敗戦日本のパイオニアたち

「材料さえあれば」の意気込み

『タイム』一九四八年七月一二日号がトランジスタの誕生を伝えているのが五四ページ目。その三分の二が広告で占められ、記事は広告の中に埋まっていた。左側が経営コンサルタント会社の広告で右側に自動車のワイパー、シカゴのホテル、ディナー用ナイフの広告。トランジスタの記事はそれらの広告にはさまれてまったく目立たない。次のページも三分の二がAT&Tのベル・システム海外サービスの広告で「スウェーデンが近くなりました。一九四六年四月二五日からスウェーデン回線が再び開通しました」と伝えている。

この号の主な広告を拾ってみよう。最も大きな広告はグッド・イヤー（タイヤ）の大宣伝、見開き二ページを占拠するカラー広告であった。全体に自動車関連が圧倒的に多く、GMのポンティアック（カラー一ページ）、フォード・トラック（カラー一ページ）、ハドソン自動車（モノクロ一ページ）、ガソリン、自動車オイル、バッテリーなど各一件。電力会社の広告もカラーの見開き二ページ。重化学工業の企業広告が二件でいずれもカラーの一ページ。レジャーセンター二件。航空会社三件。保険会社三件。運輸会社三件。酒五件。香水、カメラ、安全カミソリ、投資案内、農機具、空軍兵士募集、洋服、スイス観光、州の宣伝広告など各一件。とりわけゼネラル・エレクトリック社はカラーの企業広告に一ページ、電気皿洗い機の商品広告に一ページ、計二ページを使っての大宣伝である。電気皿洗い機の広告は若い夫婦の写真ストーリーになっていて、子供を背負った夫が妻に言う。「君は僕たちよりお皿と過ごしている時間のほうが長いんじゃないの」と。妻が答えて「ゼネラル・エレクトリックの皿洗い機があれば、そうはならないんですけどね」。この広告の隣のページには別会社が台所用の電気ディ

スポーザーを宣伝している。こうした数々の広告の流れの中にも、戦勝国アメリカの豊かな社会がますところなく描かれていた。

一方、日本の産業は敗戦で壊滅し、食糧は底をついていた。すでに戦争末期には悪化の一途をたどっていた食糧事情は敗戦後いちだんと悪化した。それに輪をかけて、多くの日本人が戦地や朝鮮、満州（中国東北地区）から引き揚げてきた。昭和二一年に入ると東京都内は食糧の遅配、欠配が慢性化し、都内各所で「米よこせ」大会が開かれた。五月のメーデーには大衆は食糧の人民管理を叫んで宮城坂下門に殺到、天皇に直訴した。しかし事態は好転せず、翌年の二二年六月には東京都の食糧配給は欠配三〇日に及んだ。どこの会社も従業員は生産よりも日々の食糧を確保することに精一杯。日本電気の三田工場では二一年五月の出勤率は八割に満たなかったほどである。

終戦の年、連合軍総司令部（GHQ）は五大改革を日本政府に要望した。選挙権における男女の平等、財閥解体、自由主義教育の促進、治安維持法の廃止、そして労働組合化の促進。こうした一連の方針によって多くの企業経営者が追放される一方、労働組合が新設された。おりから、窮迫する生活難もあって労働組合の力は急伸した。

日本電気の半導体事業を基礎から築き上げたといわれる長船廣衛さん（七四歳）は、終戦直後、日本電気の研究所で労組の執行委員をつとめていた。

――日本電気も長期間のストをやりましたね。

長船　昭和二二年に四五日のストライキをやってるんですよ。私は執行委員で生活対策本部ということでスト中におしょうゆをつくったり、石けんをつくったりして、下北沢の駅前で売

ったんです。

――それで闘争資金をつくって、組合員の生活の足しにしたんですか？

長船　いやいや、闘争まで行きませんでしたよ。食いつないでいくだけで精一杯でした。私はそのとき簡単な参考書を書いて出版して原稿料をもらって食糧にあてたり、持っていた古本を駅前に並べて売って食糧にあてたり、それはもう、食べるのに苦労しました。

――路上に並べて？

長船　ええ、ムシロを敷いて古本を並べてね。私だけじゃない、皆そうやって自分の工夫で食いつないだんですよ。ほうきを売って歩いたやつもいたし。

こうした、食うや食わずの窮乏生活を続けていた昭和二三年、アメリカの極東軍の将校が研究所を訪ねてきた。応対に出た長船さんに「軍が地上作戦でトランジスタを使うとしたら何に使えるのか」と聞いたのである。もちろん長船さんはトランジスタという言葉すら知らなかった。だから、将校に教えるどころか逆に「それは何ですか」と聞きただしたのである。

――こっちが知らないんじゃ、教えようがありませんね。

長船　ええ、だからこっちが必死で聞いた。聞いてみると、まるで知らないものができているとわかってびっくりしたんです。発明されたのが昭和二二年の暮れで、公表が翌年の七月ですから、あれはほとんど公表の直後だったことになるねえ。

――最初にトランジスタの情報に接して？

長船　ゲルマニウムの上に針を二本立てれば増幅するっていうんでしょう。真空管はフィラメントを熱する電力がいるのに、トランジスタはただの固体で、増幅作用をするという。これ

は何かあると思って飛びついたんです。

――それで原理をどう推測されました？

長船　原理なんか知りませんよ。ただゲルマニウムさえ手に入れば、おれだってつくってみせるという自信はあった。相当ずうずうしいですね。私は真空管時代は材料屋でして、材料では苦労しましたから。あの苦労を思えば、針二本立てるくらい大したことじゃないと思ったんです。浅はかにもね、アハハハハ。怖いもの知らずでね。

だれも原理を知らずに勉強会

昭和二〇年一二月、進駐間もない連合軍総司令部は各大学及び研究機関に対して、次の六項目については研究することを厳重に禁止した。テレビ電波の研究、電波妨害及び電波探索の研究、パルス多重通信の研究、音声秘匿通信の研究、暗号通信の研究など。加えて、連合軍は日本の科学技術の現状を正確に把握するために、日本の科学技術界で指導的立場にある人物をしばしば呼び出して報告を求めた。東北大学の電気通信研究所所長の渡辺寧教授はGHQの民間通信局（CCS）と関係ができ、通産省工業技術院電気試験所の駒形作次所長は科学情報局（ESS）と関係ができた。二人の学者はそれぞれのルートからトランジスタの情報を入手し、それが将来を左右する新技術であることに気がつくのである。親交のあった二人はすぐに、学界や産業界の主だった人たちを糾合して「トランジスタ勉強会」を開くことにした。勉強会は不定期ではあったが月一度の割で、東京都千代田区永田町の首相官邸の隣にある電気試験所の所長室で行われることになった。それはトランジスタがアメリカで誕生

してから、一年にもならない昭和二三年一〇月のことであった。

ちょうどこのとき、電気試験所に入所したての若い研究員がいた。元ソニー中央研究所所長の菊池誠さん(六六歳)である。菊池さんはトランジスタ勉強会の雑用係として資料を集め、人数分をタイプで複製し出席者に配布するのが役目だった。未知の技術を前にして、手探りで悪戦苦闘する先輩学者の姿を目撃していた。

菊池 私はまだ若輩でしたから、出席することは許されましたけど、正規メンバーにすぐには入れてもらえませんでした。なにしろ国立研究所に入って間もない頃ですから。

――ということは、会合の準備は新人の菊池さんの役割?

菊池 会合の準備といいますか、資料集めとプリントの作成が私の仕事でした。私はタイプライターはセミプロ級に打てるんですよ。というのは、その頃ね、文献を写すとなると、今のようにコピーの道具がないので、すべて筆写するかタイプを打つしかなかったですから。カーボン紙を七枚も八枚もはさんで古めかしいタイプライターで打ったんです。ですから、いやでも打てるようになりますよ。カーボン紙を沢山重ねて打ちますから、勢い小指だってプロ級に強くなりますしね。

――論文を何人分タイプで打つんですか?

菊池 あのね、カーボン紙入れても七、八枚が限度です。ですから、まず自分用と自分の仲間用に打って所内に配るわけ。

――で、今度はトランジスタ研究会の皆さんのために、また打った?

菊池 ええ。

——それじゃ、カーボン紙では限度七、八枚ですから、三〇人ものトランジスタ研究会のメンバーに配る資料を準備するのは同じ論文を四回以上は打った勘定になる?

菊池 そうです。繰り返して打つんです。しかも図面だけはタイプできませんので、カーボン紙を重ねて手で書かなきゃならないんですね。

——へえー。

菊池 あなた、へえーって驚いていますが、便利な道具のない時代だったらほかにやりようがない。しかも、みんな勉強したい意欲は熱烈だった。

——それにしても、こだわるようですが、同じ論文を何回も打っていたら中身は暗記してしまいますね。

菊池 ええ、完全に頭に入りますね。

——頭には入る、タイプはプロ級、一石二鳥ですね。

菊池 アハハハ、そうなりますかね。

主要メンバーは、電気試験所駒形作次所長、東北大学の渡辺寧教授を中心とする大学教授や東芝、日電、日立などの技術責任者たち。出席者は二つの専門分野からの人が多かった。一つのグループが長く真空管をやってきた人たち。もう一つのグループが整流器をやってきた人たち。いずれのグループにとっても、トランジスタ技術は未知との遭遇であった。

菊池 まったく蘭学事始めでした。渡辺先生ってのは非常にアクティブな方で「おれが今度説明をしてやる」と何かプリントを配ると、亡くなられた東芝の小林さんが、この方は後に北大の先生もやられた方だったんですが、口の悪い人で、「また渡辺先生が怪文書を配ってい

る」とか言ってからかったもんです、ハハハ。

――やはり怪文書だったんですか？

菊池　今から考えると渡辺先生の説明は、全然違っていたりしたんですけどね。そんなのいつものことでして、たとえばね、ゲルマニウムの結晶に二本の針を立てると、なぜ増幅作用が起きるのかだれもわからないわけですよ。それはアメリカでもごく一部の人しかまだわかってなかった。それをね、だれかがある説明をするわけですよ。もっともらしい説明を。みんな、変だなー、もっともらしいけど変だなあって思うから、だれかが質問するでしょう。やがて答えているうちに説明者もだんだん怪しくなってね、自分の説明は違うかもしれないって言い出すわけね。会合をやるたびに、触ってるものがどんどん変わっていく。最初こんなんだと考えていたら、次の会合ではまた別の人が別のことを言い出してまったく違うものに感じられたり、毎回どんどん変わっていくわけ。そうしているうちに徐々にトランジスタの全貌が見えてきた。トランジスタがいかなるものかがわかるまで、そりゃずいぶん時間がかかりましたよ。

――まるで解体新書ですね？

菊池　そう。だれもトランジスタの原理がわからない。今でも覚えてますけど、私が京大の久保亮吾先生に質問したことがあるんですが、久保先生は「おれもよくわからん」とおっしゃった。それを昨日のことのように覚えているんですよ。そういう時代だったんです。今では気の利いた中学生ならトランジスタの原理くらい苦もなく説明しますけどね。

――結局、トランジスタ勉強会が日本の半導体産業史に果たした役割は？

菊池　日本のトランジスタ産業を出発させるために大きな推進役を果たしたと思うんです。多くの情報を、必要とする人たちだれにでも配ったということ。それから後には、日本はゲルマニウム資源をいかに確保すべきかといったことを真剣に検討したものです。

――国家戦略的な性格もあって、大変おもしろい勉強会だったんですね？

菊池　日本の半導体産業をやがて支えるようになる人たちの決起集会みたいな会合だったと思います。日本の半導体産業の水先案内人として大きな役割を果したんです。やがて後年、電気試験所に電子部という部ができて半導体産業に大きな貢献をするんです。

■首相官邸の隣に残る廃墟

東京都千代田区永田町二丁目一番地、国会議事堂の裏手、首相官邸の隣に全体が蔦(つた)に覆われた大きな廃墟がある。これが元通産省工業技術院電気試験所跡である。明治二三年に日本の電話事業が国営化され、翌二四年に逓信省の所管になった。それに伴って逓信省電務局の中に電気試験所が設置された。電話普及のための基礎的な研究、日清戦争後の内地・台湾間の海底電線敷設計画、日露戦争期における無線電信の効果的利用計画、あるいは昭和に入って遠隔送電技術の開発など、電気試験所はつねに通信及び電気技術を発達普及させるための中心的存在であった。昭和二三年にはＧＨＱの指示で通信関連の部署が電電公社の通信研究所として分離独立し、昭和二五年に三鷹に移転。昭和四五年には電子技術関連の部署が工業技術院電子技術総合研究所として筑波に移転し、あとに大きな廃墟が残った。

トランジスタ勉強会が開かれた所長室で、菊池誠氏が当時の模様を説明してくれた

昭和三〇年代の写真がたった一枚だけNHKの資料室にファイルされていた。それを見ると、建物にはっている蔦は建物の角をわずかに黒くしているほどであった。現在は窓さえ見分けがつかないほど建物全体を埋めつくし、風が吹くと無数の葉が一斉にさわさわと音を立てる。トランジスタ勉強会が行われた所長室は首相官邸に面した二階の角にあるはずであったが、外からは蔦に埋もれて部屋があることさえ見分けがつかない。やがて昭和二九年にはだれの手も借りずに結晶の純化からトランジスタの試作までやることになるが、その部屋も蔦の下である。いずれにしても内部の撮影をしなければならない。

建物と敷地は大蔵省関東財務局の管理になっていた。日本電子産業の発祥の地として記録したいので内部の撮影を許可してほしいと願い出た。国有財産をそのような番組に許可することなど前例がない、とにべもない返事であった。せめて内部を見るだけでも見せてもらえないかと粘った。ようやく願いがかなって、見るだけという条件で下見に出かけた。

財務局の担当者が柵の鍵をあけ敷地の中に入ってみると、人間の背丈ほどもある雑草が密生して風に揺れていた。建物の通用門の鍵をあけ中に入ると、暗く長い廊下が続いている。廊下と正面玄関が交差するところだけは吹き抜けになっていて、上から明かりが差し込んでいる。玄関前の大きな階段を二階に上がろうとしたとき、バタバタバタと激しい羽音がして数羽の鳩が飛び立った。階段の踊り場から上は足の踏み場もないほど鳩の糞が積もっていた。糞はすっかり乾いて、踏む度にカサカサと音を立てた。二階の廊下は窓が一階よりは明るかった。窓ガラスは割れ、そこから蔦が進入していた。

トランジスタ勉強会を開いた所長室は扇形をした部屋であった。円を描いて外に接する窓は全面が蔦の葉で覆われていた。蔦の葉ごしに外を見ると、逆光に葉が透けて見えた。緑の水族館とでもいうような幻想的な感じさえした。これは、やはりぜひ内部を撮影する必要がある。

撮影許可を取る交渉はなかなか進まなかった。財務局側は前例がないとの一点張りで、番組の性質や趣旨など斟酌の対象とはならないと言うのである。しつこく迫る私たちに業をにやしたのか、やがて彼らは国有財産法の条文を持ち出した。撮影は国有財産の使用になるのだから、法律では使用料を取ることになる。一日の使用料は使用面積に当該地価をかけた金額の数パーセントだと言うのである。「あそこは東京でもざらにはない一等地ですから、地価はものすごいですよ」と係官。使用面積というのは、撮影の場合どう計算するのかと聞いてみると「あなた方が一歩でも足を踏み入れるところはすべて使用面積に計算されます」と言うのである。こりゃ大変だ。あの柵から、長い廊下、階段、また長い廊下、そして所長室へと歩いてきたのだから、全部使用面積に入る。そんな無茶な。

そこで再び説得にかかった。私たちの番組は商業劇映画ではなく、これで儲けようというのではない。ドキュメンタリー番組であり、しかもここが日本のトランジスタ産業の出発点になった場所だか

ら、法律は法律として目をつむってくれないかと頼んだのである。しかし、日本の官僚は厳正中立謹厳実直。法律は守るためにあるので曲げるわけにはいかない、と係官は職務を厳正に実行するつもりらしかった。こうなれば、当たってくだけろと「ねえ、お金、負けてくんない？」とざっくばらんにもちかけてみた。すると「要するに、いくらまでなら出せますか」と言うのである。しめたと思い「半額」と答えると、係官は「では、その金額に合わせて、使用面積を減らしませんか」ときた。「その面積なんですが、そこのところを、サジ加減といいますか、善意といいますか、一つなんとか」と必死でお願いした。結局、使用料は半分に減額されて許可が下りた。計算上、私たちは廊下も階段も通らずに、空中から所長室に舞い下りて撮影することにしたのだろうか。あるいは、足の裏の面積だけに歩数をかけて歩いた面積を出したのか。いずれにしても使用面積を減らしてもらうことができ、私たちは大蔵省関東財務局国有財産課の係官に深く感謝をしたのは当然である。しかし、この話を人に会う度ごとに話すと、だれもが「そんなものビタ一文払う必要などない。取材に金を払うなどお前はバカか」と叱られたものである。

さて、こうして結局撮影の許可が下りたが、その手続きはいまだかつて経験をしたことがないほど煩雑かつ厳格であった。使用申請書、ＮＨＫ定款の写し、ＮＨＫ会長の実印とその印鑑証明など一五種類の書類に使用金額を添えて持参した。下賜された文書を見ると、それは「使用許可書」ではなく「関財特契第九号・国有財産一時使用契約書」であった。それには、万一使用条件に違反したときは、違約金として一三億一〇五万七三七〇円を支払うべきものと記載されていた。

私たちはこの体験から、アメリカの産業人が日本の官僚に抱いている根強い不信感をかいま見たように思えた。やがて昭和四〇年代に入ると、革命的なプレーナー・トランジスタを日本でつくろうと

したフェアチャイルド社が通産省に阻止されてあえなく退去を余儀なくされるが、多分私たちが経験したようなことが繰り返されたに違いない。そう思ったのである。

毎週土曜は「馬小屋」で議論

電気試験所は首相官邸の隣に本部があり、分室が田無にあった。西武新宿線田無駅の南口から徒歩で二〇分。現在は市民公園とグラウンドになっているが、ここに通産省工業技術院電気試験所田無分室があった。戦前、送電線などの研究に広い面積が必要だったため、一面の畑だった多摩の丘陵地帯に分室をつくったのだという。そこに木造の研究棟が二棟、まるで馬小屋のように並んでいた。事実、人々は研究室とは言わず「馬小屋」と呼んでいた。

昭和二三年当時、この分室で物理部材料課長をやっていたのが鳩山道夫さん(八〇歳)であった。余談になるが、彼は元総理大臣鳩山一郎の甥御さんであり、後にソニー中央研究所の初代所長に就任する。当時はまだ血気盛んな中堅課長で、トランジスタの勉強会は彼を中心に田無分室でも始められた。ここには当時、企業で中堅的な存在だったエンジニアたちが土曜の午後になると集まって、入手できた資料についての読み合わせや、それについての議論を続けていた。

鳩山　まあ、常連は二〇人くらいだったかなあ。

——何回続いたのですか？

鳩山　二〇〇回に達したときは、ビールで乾杯したのだけは覚えているんですがね。

——何をしたんですか？

「馬小屋」でのトランジスタ勉強会

鳩山　いや、最初は駒形所長がGHQのESS（科学情報局）で手に入れたリポートをみんなに配って読んだんですよ。

――よく、そんなリポートが手に入りましたね。

鳩山　駒形所長はひんぱんにESSのほうに出入りしていてね、そこのオフィサーに堂々ともらったんですよ。

――ははあ、あのポーキング・ホーンという人ですか？

鳩山　いや、いや、彼はCCS（民間通信局）のほうでしょう。ですから、僕が言ったのはESSで、CCSとは別の経済・科学技術専門のセクションでした。

――そんなところに電気試験所の所長が何しにひんぱんに出入りしたんですか？

鳩山　それは報告よ。現在進行中の研究を逐一報告させたんですよ、連合軍は。

――報告しなければならないような重要な研究をしていたんですか？

鳩山　いや、そんなもの何もなかったんですが、とにかく定期的に報告に行かなくてはならなかったんです。

――へえ、重要な研究をしてもいないのにですか？

鳩山　そうですよ、あなた。日本は敗戦国で、彼らに何から何まで支配管理されていたんだから。そんなある日、確か一九四八年の夏前のことだったと思いますが、ESSの確かケリーという人だったと思うんですがね、彼が一通の文書を駒形さんにくれたんです。

――どんな文書だったんですか？

鳩山　ベル研が一般公開に先立って軍に対して実演公開をしたんですが、そのときに出席した海軍研究所の技術将校が書いたという見聞報告書だったんです。厚さ五ミリくらいもあったかなあ。

――すると、それはかなり一次情報に近い文書だったんですね。

鳩山　それがあとでわかったことなんですが、全然間違った内容だったんです。

――何が間違っていたんですか？

鳩山　見聞描写の部分はいいんですが、トランジスタ作用についての記述がでたらめでね。要するに海軍の報告者は理論についてはまったく理解できていなかったんだなあ。勝手に想像してデッチあげた理屈を報告したんだね。

――それではテキストにならないじゃないですか。

鳩山　そんな、あなた。無理言うなよ。それしかないんだから。それにわれわれはそれが間違っているとは知らないんだから。

——それでその海軍の報告書をテキストにして輪読し、議論したんですね？

鳩山 そう、ページ数で一五枚くらいだったかな。ああでもない、こうでもないと想像たくましくして議論したもんですよ。でも、すぐあとに本物の論文が手に入ったんです。アメリカの物理学会の機関誌である『フィジカル・レビュー』の七月号にはバーディーン、ブラッテンの論文が掲載されたんです。短いのがね。

——それでテキストには不自由しなくなって、だれが司会したり解説したんですか？

鳩山 それは私ですよ、ほかにいないんだもの。

——それで鳩山さんは、論文を読んだだけで半導体の増幅作用といった原理を理解していたんですか？

鳩山 アハハハハ、ぜんぜんわかりませんでしたね。まるでわからない。だってあなた、米海軍の技術将校だって、あんなでたらめを書くくらいだから、そりゃ僕がわからなくても不思議じゃない。

会社は猛反対、でもやってみたい

こうしてトランジスタにとり憑かれた技術者たちが、毎週、田無の馬小屋に集まっては日の暮れるまで未知の領域を議論したのである。トランジスタ技術が次第にその全貌を現してくるにつれ、技術者たちはそれがやがて時代を大きく変えるに違いないと考えるようになった。少なくとも真空管と並ぶ産業に発達することもありえないことではない。それだけの潜在的な力を秘めていることに気がつ

いた。特に真空管を製造していた会社のエンジニアたちは、トランジスタ技術が会社の命運を左右するかもしれないと考えた。その一人が日本電気の研究員、長船廣衛さんであった。

長船 鳩山さんたちはトランジスタを学問として受けとめた。私たちはこれで何をして儲けようかってんですから、まるで姿勢が違っていた。トランジスタが日本電気にどんな利益をもたらすか、それがいちばん大事でした。利益につながるものがあるのかないのか、それを見極めるために参加していたんです。

——会社から派遣されて？

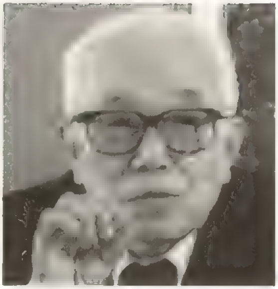
長船 と、とんでもない。会社ではトランジスタをやることに猛反対でした。飯の食えない時代でしたから、今晩の飯も食えないのに、なんで明後日のディナーの話するんだって、上の人たちがみんな怒ってしまったんです。私があまりしつこくトランジスタ、トランジスタと言うものですから。

——なるほど。

長船 私も、もうすこし素直に説明すればよかったんですがね、何でもかんでもトランジスタの時代が来るなんて吹くもんですから。少なくとも真空管の三分の一はトランジスタになる時代が来る、といったリポートを上に提出したりして。

——会社の将来を思えば？

長船 そう。そりゃ、皆が浮かれてはいかんけれども、若いエンジニアの一人や二人がトランジスタに入れあげてもいいじゃないかってね。そうしたら、私は国賊扱いにされてしまったんです。それでも、しつこく言いつのるもんですから、上はめんどくさくなってね、そん



犬塚英夫氏

なにトランジスタをやりたいなら、研究費なしでやれ。やれるものならやってみろ。

——お金がなけりゃ、どうせできるはずがないんだから、あきらめるだろうと。

長船　ところが、こちらも若気の至りで、意地になっていましたから。結構です、金がなくてもやってみせます。

——勝手にしろと。

長船　そう、私も勝手にしますと、売り言葉に買い言葉でトランジスタを始めてしまった。これが日本電気の半導体事始めでした。

真空管のメーカーでは当時日本一を誇っていた東芝でも、トランジスタにとり憑かれたエンジニアがいた。犬塚英夫さん（八一歳）は東芝に半導体技術の種を植え付けた人である。犬塚さんは途中から半導体を離れて違う分野に転身するが、まだトランジスタが東芝の中では主要な事業とは認められていなかった時代、東京深川の砂町工場でトランジスタの工業化に取り組んだ。工場は犬塚工房と呼ばれ、そこから多くの人材が輩出した。

犬塚　トランジスタをやりたいと会社に言いましたらね、上司が怒るんですよ。東芝には立派な真空管があるのに、なんで鉱石検波器まがいの得体の知れないことをやるのかってね。それはきつく叱られましたよ。

——犬塚さんはトランジスタの将来を考えてやりたいと申し出たんですか？

犬塚　いやいや、ただの好奇心だけですよ。珍しいからやってみたい。そんな高まいな理想など

あったわけでもなんでもなく、ただただおもしろそうだからやりたいと思っただけですよ、アハハハ。

——それほどトランジスタというのは、当時得体の知れない技術だったんですか？

犬塚 だから上司に叱られたわけですよ。日本一の真空管の会社にいて、なんでそんなものに手を出すのかとね。

——でも、犬塚さんのほうは会社の将来とか産業の未来とかを考えた。

犬塚 ぜーんぜん。生産のことなんか念頭になかったね。ただおもしろくてやっていただけですからね。だから東芝では、犬塚がいるかぎり生産なんかできっこないと言われたもんですよ、エへへへ。

——どうして？

犬塚 次から次へと新しいものばかり追っかけてしまうから、ハハハ。好奇心の塊みたいなもんだから、私は。

■情報源はもっぱら米民間情報局

東京の有楽町駅から宮城方向に歩いて五分ほど、お堀端に面した広い通りの有楽町側に第一生命ビルがある。ここに当時、連合軍総司令部が置かれていた。CCSもESSもこの中にあった。このGHQから歩いて三分、現在の帝国ホテル前、映画館が並ぶあたりに民間情報局（CIE）があった。インタビューに応じてくれたすべての人が、当時ここに足しげく通って、アメリカから送られてくる新

着の雑誌文献をあさっていた。

私たちはCIEの建物や内部の閲覧風景が何かに記録されていないかと、当時の写真を求めて奔走した。数枚の写真がアメリカ大使館広報文化局の東京アメリカン・センター図書室に保存されていた。それは港区芝公園側のABC会館の中にあった。私たちは昔の写真を借りることに何の障害があるはずもないと信じていた。ところが、訪ねて行くと、担当者は写真の貸し出しにひどく逡巡するのである。びっくりして問いただすと、担当者が「日本への技術流出の根源がCIEにあったととられかねない」ので写真は貸せないと言うのである。日本の技術の巨大化に手を貸したのが在日アメリカ大使館だったと本国の人たちが言い出したら、自分たちの将来にも差し支える。それほど現在のアメリカは日本との技術摩擦に神経質だというのである。粘り強い交渉の末、やっと数枚の写真を借りることができたが、担当者は最後に厳重に念を押した。「CIEは科学技術情報だけではなく、芸術、ファッション、スポーツ、映画、要するにアメリカ文化全般についての窓口だったことを絶対に触れてください。それが写真をお貸しする条件です」

菊池　情報飢餓ですからね。情報に接したときは奪い合いですよ。今は物理学会の学術誌なんかには内外を問わず論文がやたらと載っていますね。あの頃はね、今でも覚えているけれど、例のCIE図書室に行きましてね。『フィジカル・レビュー』とか、ベル研の『ベル・システム・テクニカル・オブ・ジャーナル』、つまり『BSTJ』とか、その道の学術雑誌を手にしてまず目次を見る。ずーっと見ていったって、半導体なんて字はないんですよ。たまにシリコン・ダイオードがあるくらいで。ですから、トランジスタとかセミコンダクタ(半導体)なんて言葉を見つけると、胸がキューッと込み上げてね、頭がカーッと熱くなったの。「あ

った、一つあった！」ってね。それパッと開くとね、ベル研のだれかの論文で、もうね、目が座ってきますよ。まず自分で読むわけ。同時にね、仲間に読ませて一緒に勉強しようと思うんですね。それですぐカーボン紙持ってきて、それを夢中で打つわけ。コピーなんてないんですからね。

――なるほど。

菊池 本当によく勉強しました。とにかく、一刻も早く先進国に追いつきたくて。努力は骨の髄からやりましたよ。だから僕はね、よく言うんですが、何のかんの言ったって、ついこの間まで日本は後進国だったんだって。われわれはアメリカに学んでようやくここまで来たんだって。最初から今みたいに世界のレベルに伍してはいなかったんだから、日本はあまり生意気なこと言っちゃいけない。そしてアメリカも、日本がこつこつと努力して今の結果があるんだということを認めなければいけない。タナボタで楽々と今の結果を手にしたのでは、けっしてない。これが真実の姿だと思うんです。

会社に国賊とか反逆者呼ばわりされた日本電気の研究員、長船廣衛さんもCIEに日参した一人であった。彼が筆写した論文は大型ノートにして一〇数冊にもなった。すべてが几帳面に保存されているが、原文と図面が万年筆で一字一句違うことなく筆写されている。手あかのついたノートの一ページ一ページには無言の気迫がこもっている。

――おやおや、これはすごい。これみんな手で写したんですか？　一言一句の丸写しですね。

長船 ええ。

――まるで写経だ、これは。一つの論文でも一日じゃ写せませんね。

長船　ええ、だから毎日のように通って。それも仕事の合間をみては通ってね。

——えっ、仕事の合間というのは、会社の仕事としてやったんではなくて？

長船　そうですよ。仕事は仕事でこなして、その暇を見つけては写しに通ったんです。

——無料でしたか、閲覧は。

長船　ただですよ、アメリカ側にしてみれば文化宣伝ですから。

——全部で何冊あるんですか、こんなノートが。

長船　ずいぶんありますよ。最初は筆写だったんですが、そのうちにカメラ持参で複写することを覚えましてね。ですから、このノートなどはそれを引き伸ばしたものが貼ってあるんです。ほれ、これなんか自分で引き伸ばしたんです。

長船さんに最初にお目にかかったのは世田谷のお宅であった。しかし、いざ撮影をとお願いすると、長船さんはインタビューの場所を日本電気玉川事業所の中の一室を指定した。そこには、半導体展示室が常設されており、長船さんたちがトランジスタの研究に着手してから今日に至るまで、研究し、試作し、製造したすべての物品が展示されていた。ほとんど数えることもできないほど無数の展示品で埋まっていた。

この展示室の隣に小部屋があった。そこが長船さんのオフィスであった。聞けば、つい最近まで入口には「長船顧問室」という名札がかかっていたという。しかし、名札は長船さんが顧問を退任すると同時に外された。今は長船さんの専用ではなく一般用のスペースになっていたが、中には長船さんがほとんど半生をかけて取り組んだ半導体技術の膨大な資料が所狭しと置かれていた。文献筆写ノート、研究実施ノート、海外出張マル秘報告書、ポケットメモ、写真アルバムなど、一人のエンジニア

の生きた証が積み上げられていた。それらをどこかに移動させないかぎり、事実上長船さんが部屋を専用し続けるに違いない。

——こうした大変な量の資料をどうなさるおつもりですか？

長船 資料室をつくって整理して保存をしてもらいたいんですがね。試作したサンプルは隣の展示室に寄付したんですが、こうしたノート類、手帳類、メモ類が山ほどありまして家に持っていけないし。

——退職してからでも、こうした専用のお部屋をもらえるなんて恵まれていますね。

長船 日本電気という会社はのんびりしていますから、エヘヘヘ。顧問のときまでは部屋には私の名札がかかっていたんですが、日本電気を完全にリタイヤしてからは、荷物は置いてもいいから名札を外してだれでも入れるようにしてくれと言われまして。今は名札を外して、建前は共有スペースでしょうか。

——それでも専用電話があって、お嬢さんがお茶を運んでくれる。毎日ここにおいでになるんですか？

長船 いいえ、月に二、三度です。

——おいでになると何をなさるんですか？

長船 まあ調べものですね。あれはどうだったかなとか、あのときはどうしたかなとか。それから、後輩を呼んで雑談したり。今の技術はどうなっているのかとか、経営はどんな方向に進んでいるのかとか。

——呼ばれた後輩が煙たがったりして？

長船　いやいや、私はのんびりしているから、そんなことはないですよ。
——そうですかねえ。

天井から雨が漏る実験室

同じ頃、東北の仙台でもトランジスタの研究が始まっている。東北大学工学部の通信研究所所長の渡辺寧教授はしばしば上京してGHQのCCSに出頭していた。前述のようにGHQは日本の科学技術陣の研究を厳重に管理したが、とりわけ電気通信の分野では幾つかの研究を禁止し、CCSはひんぱんに管理者を呼び出した。そんなある日、CCSに出頭した渡辺教授にポーキング・ホーン部長がベル研究所でトランジスタというものが発明されたと耳打ちした。それはゲルマニウムという固体で、電気信号を増幅する装置だと教えたのである。渡辺教授は真空管に代わる固体増幅素子の発明がいかに重大な事柄かすぐに理解した。自らも一度は固体増幅素子を考え続けたことがあったからである。

机の上にはアメリカから送られてきたばかりの関係文書が広げられていた。教授はぜひ読ませてくれと懇願したが、許されなかった。しかし、ポーキング・ホーンは書類を広げたまま席を立った。教授がそのすきにこっそりと文書を走り読みし、要点をメモしたのである。

渡辺教授は電気試験所の駒形作次所長にトランジスタの発明を伝える一方、仙台に帰ると渡辺研究室の面々にトランジスタの研究に着手することを命じた。こうして、東北大学にもトランジスタ勉強会がスタートした。毎週金曜日、通信研究所の若手研究員を中心に文献の輪読が始まった。そこに現在東北大学学長の西澤潤一さん(六四歳)が参加したのは、昭和二三年の暮れ、ベル研究所でトランジ

若き助教授時代の西澤潤一氏

スタが発明されてからちょうど一年目のことであった。西澤潤一博士、当時二三歳、まだ大学院の特別研究生であった。

西澤 私は渡辺先生に言われて、研究開始からちょっと遅れて合流したんですが、肝心のゲルマニウムがないんですね。ところが不思議なことに、先生はゲルマニウムをどうしてくれるんだろうかとか、ましてや先生はけしからんなんて思ったことは一度もないんですね。ないものはなんとか工夫してやるのが当然と思っていた。それで、ないないづくしの中で実験も始めたわけなんです。空き部屋を一室いただいたんですが、屋根が穴だらけで、夜雨が降った翌朝は傘を持って出かけるんですね。というのは、天井裏にたまった水がその日一日ポッタポッタと室内に落っこってくる。

――屋根に穴があいている？

西澤　そうです。夜降った雨が天井裏に池になってたまっているんですね。もちろん床も水浸しですから、朝出勤するとすぐほうきを持ってきて床の上にたまった水を掃き出すわけですよ。電気ストーブを床に当ててあぶってジワジワ蒸気を立てて水を飛ばすわけですな。だから、研究室の中は終日湿気が充満するわけですね。

――へえ。

西澤　今になってみれば、あんな湿度の高いところで半導体の研究するなんて正気の沙汰ではないんですけど、当時はそんな知識もないし、余裕もなかった。

――まずは天井との格闘ですね？

西澤　そう。でも、ぜいたくなことは言っていられない。それどころじゃなくて、当時は何よりも天井板の具合を観察することが先だった。雨の日とか、今夜は雨が降りそうだとか、そんな日に帰宅するときは、天井を観察して、ここらへんなら大丈夫だなというところに机を移動しておくんです。それをうっかり読み間違えて不運な場所に置いてしまうと、悲劇的なことになった。

――実験中に落水ですか？

西澤　いや、実験中もそうですけど、翌朝出てみると見事直撃を受けていて、机の上に置いてあったものがビチョビチョになっちゃっている。そういうバカバカしいところでわれわれの仕事が始まったわけです。

仙台も空襲で大きな被害にあった。市内はまだ焼け跡が片づかず、復員軍人、引き揚げ者、ヤミ屋、そして進駐してきた米軍人でごったがえしていた。空襲で焼け残った「斎藤報恩会」のビルにアメリ

カ文化センターが開設された。ゲルマニウムもなく文献もない西澤特別研究生にとっては、そこが最新のトランジスタ情報を仕込む唯一の情報源であった。やがてアメリカ文化センターの図書貸し出し業務が東北大学図書館の一室に移ってきたが、西澤研究生にとってはこの上ない好都合な移転であった。

西澤　大学の図書館に朝いちばん早く出かけていって、最新の『フィジカル・レビュー』を確保するんです。午前中いっぱいはそれを書き写すんです。たまたま、ここに写した実物があるんですがね。

――えっ、実物をお持ちなんですか？

西澤　ええ、残ったものだけですがね、本当はこれも長さ何メートルというくらいあるわけなんですがね。紙が惜しいものですから、こんなに小さな字で書き写したんですよ。

――これが結局どれくらいになったんですか、何枚くらい？

西澤　何枚というよりも、重ねて厚さにしますと二メートルくらいありましたかね。

――高さ二メートル？

西澤　はい。不思議なもので、当初は要点だけ書いてきたんですけど、やはり全部写しておかないと、あとで読み足らないところが出てくるんですね。そういう経験から、私はこういうグラフなんかも非常に正確に、論文の一点一画もおろそかにしないようにすべてを写したわけなんです。

――毎日？

西澤　はい。午前中いっぱいが筆写の時間で、午後から実験をするわけなんですが、たまたま写してきた文献の中にうそが書いてありましてね。トランジスタというのはゲルマニウムで

できるだけではなく、シリコン、黄鉄鉱や方鉛鉱でもできると書いてあったんですね。

——それがうそだったんですか？

西澤　うそですね。

——そのうそにだまされて踊らされた？

西澤　そういうことです。とにかく黄鉄鉱や方鉛鉱でもできると書いてあるもんですから、こりゃ大変だというわけで猛然と奮い立ったんですな。

■黄鉄鉱でダイオード研究

西澤潤一博士は自身が取り組んださまざまな研究はむろん、彼の指示で研究員にやらせた研究についても、巨大な装置から小さな治工具の一個に至るまですべてを保存させている。おそらく他の研究室では大昔に廃棄していまや姿を見ることもできない材料、装置、試作品など。あるいは研究のために集めた論文、資料、そして研究成果など。通信研究所の元西澤研究室や半導体研究所の倉庫には膨大な物品が収蔵されている。博士の下で働く人たちの間では、一度使ったものは絶対に廃棄しないのが鉄則であった。通信研究所の元西澤研究室は、まるで博物館の倉庫に入ったような感じがする。

私たちが「これこれがありませんか」と聞くと、博士はたちどころに「鈴木君、これを」と半導体研究所の鈴木壯兵衛さんに命令する。すると今度は鈴木さんがだれかに指示して、求めるものが必ず探し出されるのである。これなら、半導体技術史上に大革命をもたらしながらその後消滅してしまった技術でも、西澤博士の協力を得れば、必ず復元できるに違いないと私は考えた。事実、インタビュ

――の最中も博士の机からは次々と珍品が現れた。

――次々といろいろなものが出てきますね。

西澤 エヘヘへ。これが実物ですがね。鉱山学科に名人がいましてね、黄鉄鉱の原石を薄く切って、最後は向こうが透けて見えるほど薄く磨いてくれたんです。

――え、そんなに薄くですか？

西澤 はい。当時としてはこれは切るだけでも大変だったんです。

――どうなさったんですか？

西澤 薄いリン青銅の円盤を回しておいて、それにこのアルミナの粉を水に混ぜて吹きつけながら切るわけです。最後に硫化水素をつけて磨くんです。

――硫化水素ですか？

西澤 あ、じゃないですね、あれはいわゆる印肉です、印肉。

――あの真赤な朱肉を？

西澤 そう、朱肉です。ああ、思い出した。硫化水銀でした。磨いたあと、これを銅板の上にハンダづけするんです。ところがハンダごてを長くつけすぎると、貴重な石から硫黄が溶け出して駄目になっちゃう。

――大変微妙というか変化しやすい物質だったんですね、黄鉄鉱は。

西澤 そうなんです。今お話ししましたように、ちょっと温度を上げるとすぐに黄鉄鉱が変質しちゃうんですね。ところが、実はこれが貧乏なわれわれにはうってつけの材料でした。

――変化しやすい材料がなんで幸いしたんですか？

黄鉄鉱を朱肉で磨く伊藤彰氏

西澤　それはね、極貧の研究室でしたから設備は何もないわけですよ。だから、たとえば熱処理しようと思ったって、高い温度がキープできる電気炉など持っていないんですから。もしゲルマニウムのように高い温度で処理しなければいけない材料だったら、手も足も出ない。わが研究室は途方に暮れたと思いますね。それが黄鉄鉱なら、ハンダごての熱でも変化するくらいですから、実験は非常に助かったわけですね。ゲルマニウムだったら、多分変化するほど温度を上げることができなかったと思いますね。黄鉄鉱だとちゃんと変化してくれるわけですよ、自慢じゃないが。

――貧乏研究室の負け惜しみでなく？

西澤　もちろんです。

――失礼しました。

西澤　極めて簡単にいろんな種類の表面処理が実験できたのは、低温で変化しやすい黄鉄鉱を使ったせいでした。これがゲルマニウムを使っていたら、様相が違っていたと思いますね。PINダイオードの実験は黄鉄鉱を使ったからこそできたんです。それから、ずっとあとにガリウム・ヒ素といった化合物半導体の研究に入ったとき、このときの体験が非常に役に立った。黄鉄鉱は文字通り鉄と硫黄の化合物ですから。

——黄鉄鉱でトランジスタの試作に成功したんですか?

西澤 いいや、黄鉄鉱とか方鉛鉱じゃ、結晶表面が穴だらけで針二本が立たない。それともう一つ、私は考えたんです。針を一本立てたときのことが充分わからないのに、二本の針を立てたってわかるはずがないと思ったわけですよ。ですから、私は一本針の研究をすることに決めまして、毎日一本針の実験を続けたわけです。

——ところで先生、黄鉄鉱の原石を切ったり、朱肉で磨いたり、ハンダを盛り上げたり、昔先生がおやりになったこと、それ再現できませんかね。だれか若き日の西澤潤一になったつもりで。

西澤 なるほど、なるほど。おーい、鈴木君はいるかな、ちょっと。

財団法人半導体研究所主任研究員・鈴木壮兵衛さんの尽力で、黄鉄鉱によるダイオード(整流素子)研究のディテールが復元された。悪戦苦闘七転八倒する若き日の西澤潤一特別研究生には、伊藤彰主任研究員が扮した。「感激です。私が西澤先生だなんて身に余る光栄です。はい」と言って、伊藤さんは朱肉で染まった手で汗をぬぐった。

わらにもすがる思いで取り組んだ黄鉄鉱だったが、それではトランジスタの研究ができなかった。思いあまった西澤青年は結局ダイオードの研究から始めることになったが、これがやがて西澤青年に思わぬ結果をもたらすことになる。結晶表面を徹底的に検証しているうちに、表面に絶縁物を塗ると高い性能のダイオードができることを発見。これを発展させてP型層とN型層の中間に絶縁層(Isolation)を設けたPINダイオードを発明。整流特性に優れ耐圧が非常に高いダイオードとして高く評価された。P層とN層の中間に絶縁層(I層)を設けるというアイディアは、やがてトランジスタの研究にも

援用され、独創的な構造のデバイスに発展していく。

鳩山トランジスタの製作

再び東京の電気試験所田無分室。物理部材料課長の鳩山道夫さんは、まず何が何でも点接触型のトランジスタをつくってみようと考えた。もともと工作が得意だったので、半導体結晶に二本の針を立てるところまでは自分が工作しようと考えた。実験は部下に配属されたばかりの菊池誠さんの手にゆだねればいい。まずはゲルマニウムを手に入れることだと、持っていそうなところを訪ね歩いた。

鳩山　論より証拠でね。やってみるにかぎると思って、ゲルマニウム探しに出かけたんですがね。

――それで？

鳩山　私は戦前、理化学研究所で原子核の研究に携わったことがあったので、訪ねて行ってゲルマニウムってのがないかと聞いてみた。すると、あるってんで借りたんですが、これがネズミの糞ほどの大きさでガサガサした灰色の奴だった。これではてんで話にならないってんで、ゲルマニウムはあきらめた。

――ゲルマニウムが手に入らなければあきらめるしかありませんね。

鳩山　いや、そうでもない。元素周期律表なんてものを調べてみるてえと、ゲルマニウムと同じ族にはシリコンがあった。ゲルマニウムでできることならシリコンでもできるだろうというのが私の考えで、まずシリコンでやってみることにしたんです。

――シリコンは簡単に手に入ったんですか？

鳩山　それがね、戦前はトランスの鉄心にシリコンを入れたり、レーダーの検波器に使ったりしていたので、ゲルマニウムよりは入手しやすかったんです。

――そんなに簡単に？

鳩山　町にはどこにでも売っていた。

――町のどんな店に？

鳩山　参ったな、こりゃ。本当に根ほり葉ほりだね。まあいいや、ハハハハ、鋼材屋ですよ。そこに行けば売ってましたよ。

――さて買ってきたシリコンをどう処理されたんですか？

鳩山　それを溶かして使ったんですよ。

――どうやって？　ルツボか何かでですか？

鳩山　ああ、ルツボに入れて、一四〇〇度に熱すれば溶けますからね。

――電熱器でですか？

鳩山　まあ何でもいいんですよ、一四〇〇度の熱が出れば。電熱器も使ったな。

――それを取り出して冷やして？

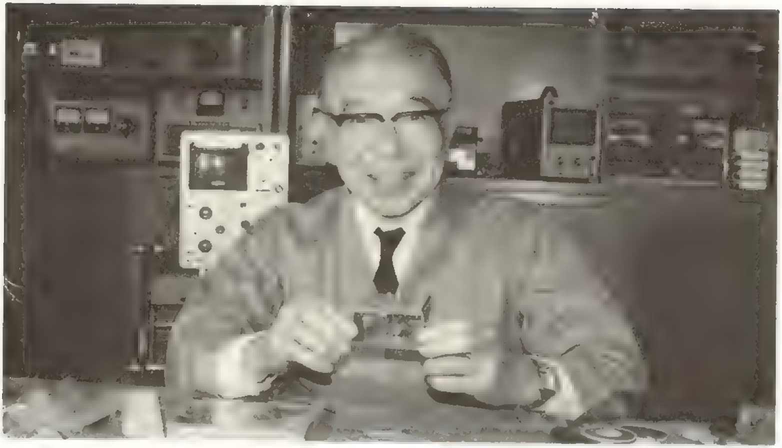
鳩山　冷やして磨いてね。

――まるごと実験に使ったんですか？

鳩山　いやトンカチでカチ割ってね。

――ではゴツゴツの結晶ですね？

鳩山　そうゴツゴツの結晶の一面だけを磨いてね。


トランジスタの工作を再現した鳩山道夫氏

――何を使って磨いたのですか？

鳩山　砥石でね。

――砥石って、あの包丁を研ぐ砥石ですか？

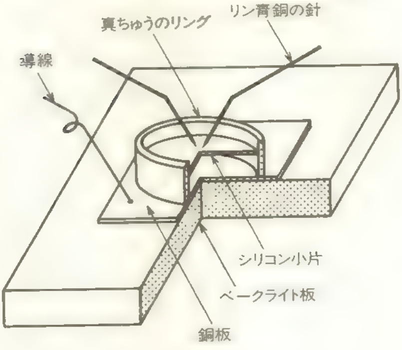
鳩山　いや簡単に言うと砥石ですが、まあ銅の円板をモーターで回転させるようにしておいて銅板の上に水をぶっかけ、そこに目の細かい金剛砂を混ぜて円板を回転させ、シリコンを押しつけるんです。

――先生、どうでしょう。これ以降の工作は、センチメンタル・エンジニアリングとしゃれて、本当につくってもらえませんかねえ。

鳩山　へえ、センチメンタル・エンジニアねえ。やってみましょうか。ただね、材料も道具も全部、あなた持ちですよ。全部揃えてくれれば知恵と腕は貸しましょう。

鳩山トランジスタの製作はNHKの理科実験室で行った。シリコン板はシリコンメーカーから譲ってもらった。リン青銅の細い線、真ちゅうのパイプ、

図10　鳩山トランジスタの構造（断面図）



銅の板、真ちゅう板、ビスにナット、ニッパーにハンダごて、糸ハンダ、作業机に白い作業衣、後ろの棚には古めかしい測定器。すべてを取り揃えて鳩山元材料課長をお迎えした。

鳩山　ほう、そっくりだ、馬小屋の実験室に。

——ではさっそく、白衣に着替えていただいて。

鳩山　ほうほう。よく揃っていますよ。諸君やりますねえ、なかなかのもんですよ。じゃあ、やらかしますかな。

先生はかなりご機嫌の様子であった。独り言をつぶやきながらコツコツと部品をつくり、組み立てていく。

鳩山　思い出しますねえ、あの頃を。みーんな腹ぺこで、やせて目だけランランと光らせてねえ。彼らにできたことをおれたちにできないわけがないなんて信じちゃって。あたしゃ、あのとき幾つでしたかねえ。三〇歳の男盛りでしたなあ。光陰矢のごとし。あたしゃ今年八〇歳。それで日本は半導体王国だって。

——当時、多少は増幅の原理などは知っていてつくったんですか？

鳩山　ぜーんぜん。つくってから考えよう、ですよ。おっとっと、これじゃハンダの入れすぎだ。

鳩山さんはおよそ三時間かけて、写真のようなトランジスタを完成した。これを図面にすると図10になる。

鳩山さんが鋼材屋で手に入れた材料はトランスの心に入れて使う純度九〇パーセント程度のフェロシリコンであった。現代の半導体産業で使うシリコンの純度が九九・九九九九九九九パーセントであるから、ほとんど話にならない純度であった。微量(〇・〇一パーセント)の伝導物質を添加することで、結晶を思うような性質に変えるのが半導体技術の基本である。だから、微量の伝導物質の活躍を邪魔するような不純物いっぱいの結晶では困るし、電子の通り道が穴だらけの多結晶でもまた困る。そんなわけで、鳩山さんが手に入れてきた純度が九〇パーセント程度の多結晶フェロシリコンではトランジスタなどできるはずがなかったのである。しかし、知らぬが仏の菊池誠さん、鳩山トランジスタを渡されて神経をすり減らすのである。

三か月間、毎日が失敗の連続

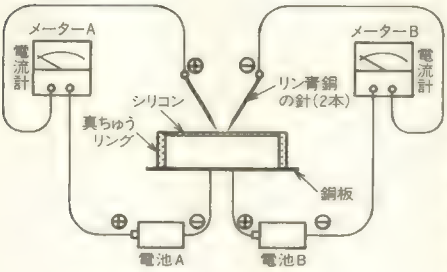
菊池　さあ、そこからが僕の実験なんです。

——何をやるんですか?

菊池　二本の針の先端がね、遠くっちゃ駄目なんです。出ないんですよ、現象が。ともかく針を近づけなきゃいけない。で、僕のやったことは顕微鏡をセットしましてね。試料に二本の針を固定して、これに電気回路をつなぐわけ。

——どんな?

図11　鳩山トランジスタの増幅回路



菊池　図に書くとこうなりますが（図11）。回路のつなぎ方は、まず電池Aを図のようにつなぎます。でも、メーターAの針は振れません。次に電池Bを図のようにプラス・マイナス反対につなぐ。すると、これをつないだ瞬間、メーターBはむろん、それまでぴくともしなかったメーターAも同じように振れる。こうなれば、万々歳なんです。

――ところが？

菊池　全然振れないんです。Aのほうをじっと見つめながら電池Bをつなぐ。両方のメーターがほとんど並行に振れたらできたってことになるんですが、それがまったく起きないんです。

――なぜそのような現象が起きるんですか？

菊池　これを電流増幅と言うんですが、電池Bのつながっているほうに電流の変化が起きると、電池Aがつながっているほうにも変化が及ぶというのが、トランジスタ発見の要点なんですね。

――それで、メーターの振れを見つめて格闘するんですね。

菊池　毎日毎日朝来ると、お茶を一杯飲んでから実験机に座りましてね。顕微鏡をのぞいてまずシリコンの上に二本の針をいちばん近い位置にセットするわけです。これ難しいんですよ、

微調整なんて道具まだ何もないんですから。ピンセット一本で二本の針を近づけて、いちばんいい位置に来たと思ったところで、A電池のスイッチを入れて電気を流してみるわけ。

――ちなみにその間隔はどれくらいですか？

菊池 一〇〇分の一ミリ。

――え、一〇〇分の一ミリ？

菊池 一〇〇分の一ミリでも本当はまだ遠いんですけれど、まずは一〇〇分の一ミリを目見当に二本の針を近づける。それで目を皿のようにしてやるんですが、顕微鏡の視野の中で見ると、下手にいじったら針がどっかへ行っちゃうわけですよ、ハハハ。それを毎日毎日やっているわけね。

――朝から晩まで？

菊池 だって、ほかにすることないんですから。Bメーターがこう振れる。同時にAメーターもこう振れてほしい。これが今に起きるか、今に起きるかと繰り返し続けたんですよ。朝やってダメ、午後やってダメ、今日もダメ、明日もダメ、一か月続けてダメ、二か月……。

――えっ、二か月も？

菊池 そうですよ。余談ですけどね、僕がこの二か月で何を学んだかっていうとね、アメリカの学者がいかに偉大だったかということです。たとえばこの間亡くなったショックレーと彼の共同研究者ジョン・バーディーン、ウォルター・ブラッテンたち。特にショックレーは、トランジスタができるまで一二年間も失敗を繰り返したわけでしょう。自分は今、アメリカで成功したという情報を元にして追試をしてるわけ。だから、やってりゃ、いつかでき

るということを僕は知ってるわけね。できないのは自分の実験がまずいんで、やってりゃできることなんだってこと知っててやってるわけね。ところが彼は、永久に失敗し続けるかもわからないのに一二年も続けた。これは大変なことだと。

——それで結局、実験の結果は？

菊池 それが、二か月くらいたってまだ出ない。

——毎日ぶっ続けで？

菊池 ええ。なんていうかなあ、身の毛もよだつような発明らしいと思いながら、自分の目でそれを見てみたい一心でね。何とかして実行したいわけですよ、自分の手で。

——まあ、毎日やることがあるもんですね、やることなくなっちゃいませんか？

菊池 そう思うでしょ。実はそうなの。というのはね、取り替える結晶はないわけ。たった一個のシリコンでしたからね。せいぜいやってることはね、表面の仕上げでも悪いのかなと思ってこすってみるとか。それでもいけないのかと思って、表面を薬品で処理してみる。そんなことくらいしかやることがないんです。それからあとはね、針の先をとがらすくらいのことでした。針は最初は充分とがっているんですが、結晶に立てて動かしているうちに針先がだんだん曲がってくる。顕微鏡で見てみると、それがわかるんですよ。それで針先をしょっちゅうとがらせなければいけませんでした。

——大変な忍耐力ですね？

菊池 でも、毎日興奮していましたよ、いつかは成功するはずだと思って。そんなある朝、突然両方のメーターが振れたんですよ。

――できた？

菊池　それでね、僕、飛び上がってね、鳩山さんの部屋に飛んでいったんです。「鳩山さん、できましたよ！」ってね。鳩山さんも椅子から飛び上がって「本当か？」って僕について来ました。僕も意気揚々と実験室に戻って鳩山さんにやってみせようと顕微鏡のぞいたらね、なんのことはない、針同士がくっついていたんだね。

――ショートしてたんですか？

菊池　ショートしてたんですよ。ぬか喜びでがっくりきましたよ。あのときは完全にできたと思ったんですが。

――駄目でしたか？

菊池　それがね、できるわけないんです。結晶が駄目だったんですよ。そんなことはあとからわかった。あのね、鳩山さんが一生懸命探してくださったシリコンだったんですが、その結晶には汚れが、不純物が多すぎた。多いったってね、普通の感覚じゃなくてね。

――不純物が問題だった。

菊池　半導体というのはね、簡単に言うとシリコンの原子が、たとえば一億個あったときに、不純物原子がその中に一個だけある。それぐらいまで純度を一回上げて、その上で必要な不純物を足してやる。トランジスタってのは、そうやってつくるものだったのね。

――それをこっちは知らなかった？

菊池　そう。だから鳩山さんが手に入れてきたシリコンなんか、やたらと不純物が多くて、シリコン原子一億個に対して不純物の原子が一万個も入っているようなシロモノで、こんな結

晶ではいくらら努力してもトランジスタなどできるわけがなかったんです。

——ははあ、それは知らぬが仏ですね。

菊池 そう。とうてい問題にならない汚れた結晶だったわけですよ。

——結局、何か月失敗を続けたんですか？

菊池 三か月くらい続けたと思います。

——えっ、三か月も？

菊池 はい。それは私にとって大変貴重な体験でした。何の光明も見えないままに研究を絶対にあきらめなかったショックレーの科学者魂の片鱗に触れた思いがしたものです。

■ つっ返されたPN接合論文

結晶自体が悪すぎると、それで研究をしても出てきた結果には何の意味もない。結晶の電気的性質をいかに精密にコントロールするかというところに半導体技術の真髄があるのだが、当時の菊池さんたちにはそのことがよく理解できていなかった。そのために大恥をかいたことがある。

当時はまだ、結晶の純度を上げる方法がベル研究所でも発明されていなかった。やがて間もなく「ゾーン・リファイニング」という精製法が考案されて結晶の純度が九九・九九九九九九九パーセントにも上がるのだが、点接触型のトランジスタが登場した頃は、まだそれほどの純度には結晶を純化する方法がなかったのである。

また、トランジスタに使う結晶が単結晶でなければならないことは知られていたが、単結晶のイン

図12　偶然にできたPN接合

ゴットをつくる方法も生まれていなかった。単結晶を手に入れるには、結晶をルツボで溶かし、ゆっくりと冷やして、たまたまどこかにできた単結晶の部分を切り出して使ったのである。

点接触型トランジスタが発明された直後、ショックレーが針のない接合トランジスタの理論を考案するが、それはP型、N型、P型の各領域が一つの結晶の中にサンドイッチ状に隣接していることが必要であった。このP型とN型の隣接状態をPN接合といい、接合トランジスタを理解する上では、これの電気的性質を解明することが先端的な分野の一つであった。

ところが、ルツボでシリコンを溶かしているうちに、たまたま偶然にシリコンの先がPN接合になっていた。不純物の多い結晶を溶かすと不純物が上に浮き上がって先端にたまり、不純物同士が隣合って偶然にPN接合ができたのである（図12）。それを見つけた電気試験所田無分室の一同は、全員の連名で論文をアメリカに提出した。

鳩山　当時はね、PN接合の理論がベル研から出ていてね。われわれもPNジャンクションができたってわけで、熱中してこの方法で研究をやったんですな。そんなときベル研から論文が出てね、PN接合の静電容量についての報告が載っていた。そこでわれわれも、さっそ

く栗の頭を切り取ってPN接合の静電容量を測った。ところが、ベル研の発表とは似ても似つかぬ結果となった。それでこれは大発見だと思って、全員の名前で論文にしてアメリカに送った。それが不採用で送り返されてきた。

――どうして?

鳩山 あなたがたのやった追試実験は間違っている。材料は純度がこれこれのシリコンを使ってうんぬんと手厳しく指摘されてね、全員で大恥をかいた。

――材料がひどいからとんでもない結果が出るというんですね?

鳩山 そう。だって、まだ結晶の精製法なんて知らないから、ありあわせのひどいシリコンを溶かしただけの多結晶だったからね。

――でも、それでよくPN接合ができましたね?

鳩山 実は、材料がひどい結晶だったからこそ、栗の先がPN接合になったんだよ。不純物の多い結晶を溶かすと不純物が外に析出してくる性質があってね、これを偏析現象と呼んでいたんですが、この偏析で不純物が栗の先にたまったんですね。やがて登場する精錬技術ゾーン・リファイニングというのはこの原理を応用して、偏析を繰り返すことで結晶から不純物を取り除いていくんですが、このときは偏析で栗の先に不純物が掃き寄せられていたんですね。

――なるほど、はからずも不純物のおかげでPN接合になったんですね?

鳩山 やがてわかったんだが、その頃アメリカでは結晶を精密に意図通りにP型にもN型にもできるようになっていましてね。超高純度の単結晶のシリコンに、これまた超高純度の不純

物を一定量溶かし入れることでPN接合にするんですが、こっちはそんなことは知るよしもなかったからね、まだ。

――純粋な不純物なんて発想はまだなかったんですね？

鳩山 ないない。アハハハハ、それで大恥さ。それも所長以下全員の連名でね。

バケツと水で試作に成功！

純度の高い結晶を手に入れるために、いかに苦労したかという話が続いたが、その極め付きが「バケツ偏析」法である。話が前後するが、日本で最初に点接触型トランジスタの試作に成功したのが岩瀬新午さん（七一歳）であった。現在は三洋電機の顧問をなさっているが、当時は電気通信省（後の電電公社）武蔵野通信研究所に入所したばかりの若き研究員であった。昭和二三年、電気試験所の通信関連部署が、GHQの指令で電電公社の通信研究所として分離独立するが、彼らが最初に取り組んだ大プロジェクトがトランジスタの試作であった。本家ともいうべき電気試験所でさえ、まだトランジスタの試作には成功していなかった頃である。

岩瀬 私は昭和二五年に電電公社に入社したんですが、ちょうどそのとき、三鷹の武蔵野通信研究所でトランジスタ開発のプロジェクトができたんです。それに入れられて、初めてトランジスタをやることになりました。

――何から手をつけたんですか？

岩瀬 トランジスタに使うゲルマニウムは高純度の単結晶でなくてはならないというんですね。

まず結晶の純度を上げる精製をしなければいけないのですが、どうやっていいのかわから
ない。さんざん知恵を絞ってねえ。ひらめいたのがバケツと水を使う方法でした。

岩瀬さんが考えた方法はこうである。ルツボに入れた結晶を、下から溶かしていくのだが、赤熱部分を非常にゆっくりと上に移動させるのである。

ゲルマニウムが溶解して液状になっている部分では、中の不純物が上に浮き上がってくる。したがって、溶解部分を上へ上へと移動させれば、不純物も一緒に上へ上へと移動していき、最後には結晶中の不純物が全部一緒にてっぺんに掃き寄せられる。ただしこのアイディアを実現させるには、溶解部分をゆっくりと移動させなければいけない。じっくり溶かして不純物を充分浮き上がらせなければいけない。不純物が充分浮き上がらないうちに移動しては、不純物が残ってしまうからである。だから、溶解部分をいかに超微速度で動かすかが決め手になる。しかも、移動がぎくしゃくしては結晶の純度にむらができるから、溶解部分をスムーズに動かす必要がある。

ゲルマニウムの一部分だけを溶かしながら移動させるには、加熱ヒーターを移動させるか、ゲルマニウムを移動させるかのどちらかであるが、ゲルマニウムを移動させることは不可能である。なぜなら、溶解は真空下で行う必要があるため、ゲルマニウムの容器が石英管の中に固定されているからである。となると、加熱ヒーターを移動させるしか道はない。

さて、これを時速数センチの超微速度でスムーズに引き上げるにはどうしたらいいのか。精密機械や制御装置など何もない。第一、金などかける余裕がなかった。あるのは知恵と時間と根気だけ。こうして思案の末にひねり出したのが、バケツに穴をあける方法であった。

バケツの底に穴をあけ、蛇口を取り付ける。バケツにたっぷり水をはり、浮きを浮かべ、浮きに糸

をつなぎ、糸をヒーターにつなぐ。準備万端が整ったところで精錬開始。ヒーターに電気を入れ、バケツの蛇口を開く。蛇口から水が流れ、水面が下がり、浮きも下がり、糸がヒーターを引っぱり、ヒーターが上に移動する。蛇口を大きく開けばヒーターは速く移動し、蛇口を閉めればヒーターは止まる。コック一つでヒーターの速度を自由に調節できる。これがバケツ偏析装置の仕組みであった。

――それをもう一度技術復元してもらえませんかね。

岩瀬　いやー、そりゃ不可能だ。そんなことしなくても写真がありますよ、通研に。

――ほう、写真でねえ。写真説明だと、まあ長くて三〇秒もつかなあ、いや一五秒ですねえ。テレビのお客様は気が短いし、わがままですからねえ。

岩瀬　なるほど。

――もちろん私たちも一枚の写真に心をこめてコメントしますけど、そんなのお客様の耳に入るかなあ。やはり動く映像にはかなわない。

岩瀬　そうですか。

――そうですよ。岩瀬さん、テレビというのは映像のある人が勝ちですよ。どんなに立派な業績を口でしゃべられても、絵で見えなければテレビのお客様には何のことだか見当もつきませんからね。百聞は一見にしかず。テレビというのは、結局「生きのいい話」と「絵のある話」が時間を占拠するんですよ。

岩瀬　なるほど、なるほど。

しばらくたって岩瀬さんから電話が入った。「やりましょう。皆さんの熱意に負けました。ぜひやってあげましょう。ところで費用なんですが、当然そちらで負担していただくということで、どうでし

ょう」。こうしてバケツ偏析装置の復元が始まった。図面（図13）は岩瀬さん自身が写真と記憶をたどって引き直した。

岩瀬さんと関係のある関連メーカーが、図面に従って材料を集め、加工し、組み立てた。組み立てには岩瀬さん自身が立ち会い、陣頭指揮をとった。その過程を詳細に映像に記録した。組み立て現場は秋葉原の電気街に近い小さな鉄工場の片隅であった。

――当時、実験をやったのはどこでした？

岩瀬　三鷹の武蔵野通信研究所四号館の二階でした。

――各部品はどうやって調達したのですか？

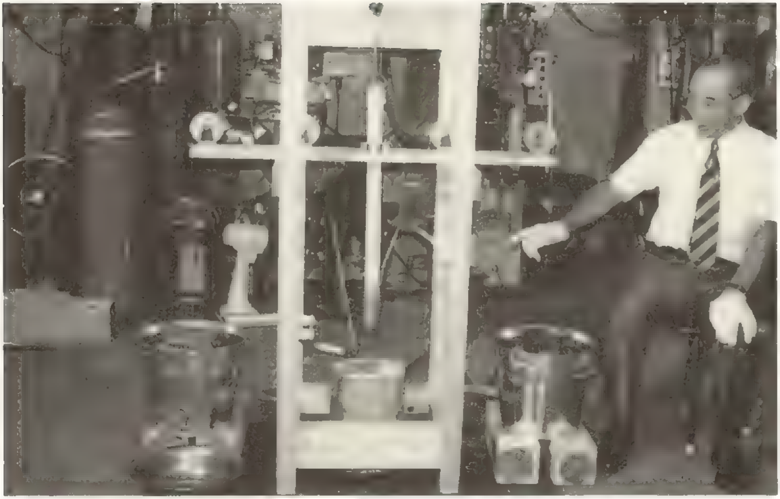
岩瀬　全部がありあわせのものを流用しました。真空ポンプは真空管の研究をしていましたから、通研にはたくさんありました。

――なぜ真空にしなければいけないんですか？

岩瀬　不純物を含んでいるゲルマニウムを焼くとガスが出ますので、それを排出する必要があったんです。また余計な酸化を防ぐ意味での真空が必要でした。現在は不活性ガスを入れてそうしたことを防いでいますが、当時は真空にするしか方法がなかったんですね。コイルは太さ数ミリの銅線パイプを使いましたが、これはどこにでも転がっていましたしね。

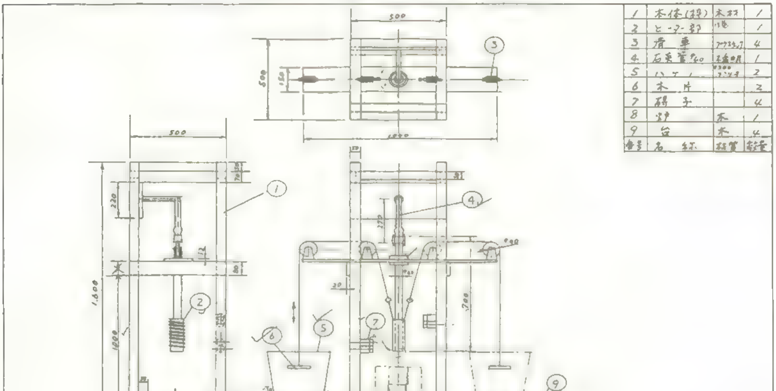
――いろいろ周囲にあって都合がついた？

岩瀬　ただ、ルツボは炭素を旋盤で削ってつくったんですが、部屋に黒い粉が舞い散って、そりゃ大変でした。炭素は東海電極に知り合いがいましたので純度の高いものを譲ってもらって、炉で焼いて使いました。木枠は材木屋で買ってきましたし、その切れ端を浮きにしま



見事に稼働したバケツ偏析装置と岩瀬新午氏

図13　バケツ偏析装置の設計図



した。ブリキバケツは三鷹の金物屋で買ってきて、蛇口は自分でロウづけしました。

――まるで廃物利用というか日曜大工というか。

岩瀬　これでも当時は先端技術に取り組んでるというわけで、重役さんたちから非常に注目されましてね。

――それじゃ、失敗はできない？

岩瀬　いやいや、失敗もへったくれもないんですよ。だれも知らないし、比較するところがないんですもの。初めての事柄ですから、たとえ失敗しても、それが失敗であることすらわからないんですから気が楽ですよ。それに自転車しかない時代でしょう。自動車はないし、ゴルフはないし、遊ぶものは何にもないんですから、これやってるのがいちばん楽しかったですよ。だれもまだやったことのない世界最先端の事柄を自分がやっているという満足感にひたってね、お偉いさんには注目されるし。そういう時代でしたよ。実験は寝ても覚めてもやっていたんですよ。石英管の中を真空にするのは時間がかかるんですよ、ポンプの力が弱いから。ですから、石英管の中が真空になるまで待つんです。待っていると夜が明けて徹夜になったりするんですが、徹夜がまた結構楽しくてね。つらいなんて思ったことがなかった。

――いちばんナウくて充実した遊びだったんですね。

岩瀬　そうですよ。もう夢中になりましてね。

――唯一の娯楽の大成果？

岩瀬　そうですよ。二五年に結晶づくりを始めて二八年には点接触型トランジスタの電蓄を三越

で発表しているんだもの。早かったですよ。なにしろ私が日本で最初でしたから、ゲルマニウムの精製に成功したのも、点接触型トランジスタを発表したのも。

――それはまさか『○○のつくり方』なんていう本を見てやったんではないでしょうね？

岩瀬 とーんでもない。あったのは理論だけですよ。ですから理論から想像してものをつくったんですよ。

――実物は？

岩瀬 今はもうありませんね。このトランジスタラジオは通研の公開日に玄関に展示しましたが、そのとき黒い背広を着た人がじーっと長い時間熱心に見ていました。ものすごく熱心でした。あとから考えて、それはソニーの井深さんではなかったかと思います。実はソニーから試作ラジオを貸してほしいと言ってきたのです。

――貸しましたか？

岩瀬 いえ、貸しませんでした。ソニーとは関係がありませんでしたからね。でも、井深さんはこのラジオに大きな刺激を受けたんだと思いますね。

日本初のゲルマニウム回収

トランジスタが重要な戦略技術であることが次第に判明してくると、世界はその原材料であるゲルマニウムの確保に必死となった。日本の技術者たちがトランジスタの研究に着手した頃、肝心のゲルマニウムを入手するのに大変な苦労をした。当時、ゲルマニウムの産出国はベルギーとアメリカだけ

であった。しかも、朝鮮戦争の勃発と相前後して、米軍が世界中のゲルマニウムを戦略物資として買い占めた。価格は金と同じだったという。

こんな時代を背景に、日本もゲルマニウム資源の確保に苦悩した。昭和二五年春、日本学術振興会が鉱物新活用委員会（通称第111委員会）を母体に半導体材料委員会を設置した。目的は二つあった。一つが国内の資源探査。もう一つが副産物としてゲルマニウムを回収する方法を見つけることであった。資源探査の結果、ゲルマニウムを含む鉱物が二、三の鉱山で見つかったものの、含有量が少なすぎて採算コストに乗らなかった。結局、国内には有力なゲルマニウム資源がないという結論に達した。あとは副産物としての資源回収に頼るしか方法がなかった。

財団法人石炭総合研究所では石炭から、三菱金属鉱業では亜鉛から、それぞれ副産物としてゲルマニウムを回収する研究に着手した。ここに登場する稲垣勝さんは、当時石炭総合研究所の研究員として石炭ガスの廃液からゲルマニウムの回収に成功した化学エンジニアである。しかし、彼の成功も一時的な話題にとどまった。間もなく、ベルギー領コンゴ等からのゲルマニウムが順調に入るようになり、価格が暴落しコスト競争に勝てなくなったからである。

稲垣さんからは、取材日の前日から「お待ちしています」と再三電話がかかってきた。地図の上では稲垣邸はNHKの放送センターから目と鼻の先にあった。だが、そこにたどりつくには大変な時間がかかった。東京随一の高級住宅街渋谷区松濤の道路は一方通行で厳しく規制され、車はグルグル同じところを回るばかりであった。やっとたどりついた住所には巨大なトーチカのような豪邸がそそり立っていた。コンクリートの門をくぐると、その先の庭に瀟洒（しょうしゃ）な数寄屋造りが建っていた。これが稲垣夫妻の住まいで、コンクリートの豪邸は娘さん夫妻の住まいであった。稲垣夫妻が私たちを待ちか

ねたように迎え出た。

——いやー、このへんは道が入り組んでいて、わかりにくいですね。ぐるぐる回ってなかなかたどりつけませんでした。

稲垣 そうですか、まあお上がりください。待っていました。

——電話を何度もいただき恐縮しました。

稲垣 さあ、どうぞ。

広い庭に面した和室でインタビューをすることに決めるとすぐに、私を除くスタッフは撮影準備に入った。照明のセッティングが終わるまで、私が稲垣老人の話相手になった。稲垣さんは本棚から数冊の著作を取り出した。

稲垣 さて、皆さんは全部で何人になりますかな。

——四人ですが、どうぞお構いなく。

稲垣 皆さんにぜひ、これを差し上げたいと思いましてね。世界中の川をほとんどめぐりまして釣りをした釣り紀行です。

——『海外釣り・一人旅・第二集』、釣り竿を持って世界旅行をなさったんですか。

稲垣 何十回もね。

——何十回もですか、世界の川を?

稲垣 はいはい。さて、これはあなたに「相田洋様」と。それで次はどなたですかな。

——稲垣さん、私だけで結構です。

稲垣 いえいえ、ぜひ差し上げたい。まあ、睡眠薬代わりに。

――そうですか、それは恐縮です。オーイ、みんな名前を言って！　坂本さん、沢中さん……名前は？

沢中　ハーイ、カメラマンのジュンです。サンズイにナベブタ書いてクチ書いて。

稲垣　はいはい、淳ですね。沢中淳様と、次は？

坂本　照明の坂本光正です。

――しかし、本当に悠々自適の釣り三昧ですね。

稲垣　最近は腎臓を悪くして医者に止められているんですが、これだけはやめられない。

『海外釣り・一人旅』第二集は限定五〇〇部のカラー写真をふんだんに使った私家本であった。その著者略歴によれば、一九一六年和歌山県に生まれる。旧制田辺中学校卒。六高・京都帝国大学理学部卒。三井化学、炭研などを経て明治大学工学部教授・工学博士・技術士。現在技術コンサルタントのほかに林業経営。日本林業経営者協会評議員。

――さて、稲垣さんは戦後昭和二七年に石炭の廃液からゲルマニウムを回収したと聞きましたが、そもそもどんなきっかけでゲルマニウムの回収をやろうと思い立ったんですか？

稲垣　エヘン、エート、そうだ。私は長い間、石炭の灰の研究をしていたんでありますが、昭和二五、六年頃、外国の文献に、英国で石炭ガスを取ったあとの廃液からゲルマニウムの回収に成功したという記事が載っていたのであります。そもそも石炭の中にゲルマニウムが含まれているということは、オスロ大学のゴールド・シュミットという人が発見したんでありますが、それを英国が実際に回収に成功したという記事を見まして、それで私もやってみようと考えたのでございます。

――ちょっと中断。稲垣さん上着脱ぎましょうか。ネクタイに上着じゃあ、まったくよそ行きの晴れ姿ですね。それがコタツに入っているんじゃチグハグですから。

夫人 そうよ。ネクタイを取りなさいよ。楽になさいな。この人ったら昨日からネクタイ選んじゃったりして、大変だったのよ。

――はいはい、結構です。稲垣さん、すっかり姿が変わりました。くつろいだ姿で、お話も、きっと角がとれますよ。背広のボタンも外しましょう。

稲垣さんは大切そうに小さな箱から五本のアンプルを取り出した。最初のアンプルには黒い液体が入っていた。これが粘液状の石炭廃液であった。これがざらざらした褐色の液体に変わり、サビ色の粉末に変わり、最後に白い粉になっていた。この過程を稲垣さんはよどみなく流ちょうに解説してくれた。しかし、それが終わるとたんに口が重くなった。そこで、今度は奥さんに水を向けた。待ってましたとばかり、稲垣夫人が語り出す。隣のご主人はあとは任せたとばかり、じーっと夫人の講釈に耳を傾けるばかりであった。

夫人 ついこの間のように覚えていますの。

――どんなことですか？

夫人 主人は、それはもう苦労をいたしましたの。失敗が何度も続きましてね。何でもイオン交換樹脂に廃液を通したんだけれども、どことかに付着しているはずの酸化ゲルマニウムがついていないだの。「あれはまずかったなあ、困ったなあ、もう実験をやらせてもらえないだろうなあ」とか。床に入ってもぶつぶつ独り言を言って悩んでいるんですね。酸化ゲルマニウムを回収する装置を東京ガスが大変なお金を出してつくったのにこんな結果

稲垣勝氏の話は途中から夫人にバトンタッチされた

になって、これで失敗したら、もう東京ガスも次の実験はさせてくれないだろうとかね。

――ご主人が眠れない。

夫人 はい。ところが、東京ガスの林さんの奔走で別の実験ができることになり、主人は死に物狂いで廃液を取る設備の設計に駆け回りまして。それで何か白い粉を持って帰ってきたときなんか、見る影もなくやせこけていました。

――白い粉？

夫人 これですよ、この白い粉。ある夜、この小さな瓶に入った白い粉を持って帰ったんです。ところが、主人は床についてもなかなか興奮して寝られないんですね。うつぶせになって、枕元に置いた小さな瓶を見つめながら、あごを抱えてぶつぶつぶつぶやいているんですね。それで私が「どうかしたんですか？」って聞いたんです。するとね、「いや、この粉を明日研究所に持って行ったらゲルマニウムかどうかがわかるんだけど、明日の朝のことを考え

たら眠れないんだ」と言うじゃありませんか。で、私は「じゃあ、どうすればゲルマニウムかどうかがわかるの」って聞いたんです。すると主人は「ものすごい熱で、一〇〇〇度くらいの炎で燃やしてみて、粉が燃えてしまえばゲルマニウムじゃないけれど、変化しなければゲルマニウムなんだ。そうなれば、日本で初めてゲルマニウムができたんだ」と言うじゃありませんか。それで私も「へえ、それなら眠れないわ。でもそんな簡単なことなら、これから台所で燃やしてみたらどうなんです?」って言ったんです。

――それで?

夫人 銀のスプーンじゃもったいないけど、家にはミツマメのスプーンが一セットありましたから、あれなら一本くらい駄目にしてもいいと思い「ミツマメのスプーンに載せてガスコンロであぶったらどうなの、あれだってガーッとガスを強くすると、相当に熱くなりますよ」って言ったんです。主人が「そうだなあ」って言うんで、二人で夜中に起き出して寝間着のままで台所に立ったんです。昭和二七年一一月の寒い夜でした。

――それで?

夫人 ミツマメの丸いスプーンに白い粉を入れて、ガスレンジの炎をいっぱいに大きくして、私がスプーンの柄を持ってあぶったんです。主人は隣でジーッとスプーンの中を見つめているんです。スプーンが真っ赤に焼けて溶けそうになっても、白い粉は少しも変化しませんでした。二〇分もそうやっていたんです。お砂糖ならとっくに燃えて煙になっている頃でしょう。それなのにスプーンは灼熱して焼けて、柄まで赤くなって、持てないほどになっているのに粉はびくともしないんです。すると主人が「できた、できたぞ、これでいいん

だ」とすっとんきょうな声を上げるものですから、私は「エッ、何ができたの」って聞いたんです。すると主人は「ゲルマニウムだ、確かにゲルマニウムだ、日本で初めてゲルマニウムが取れた」と言うんです。「日本にはゲルマニウムがなかったんだ。これからは大丈夫だ。石炭があるかぎり、日本もゲルマニウムに困らなくなったんだ」

——おめでとうございます、回収成功ですね。でも、これじゃますます眠れない？

夫人 ええ、もう眠るどころではありません。まんじりともしないで夜を明かして、夜明けとともに主人は白い粉を持って家を飛び出していきました。

——それは確かにゲルマニウムだったんですか？

夫人 その夜、主人は小さな銀色の金属を持って帰りました。それが白い粉からできたゲルマニウムの塊だと言うんですね。「あの粉がこんな石になったの？」って聞くと「そうだ、これで世の中が大きく変わるんだ」と言うじゃありませんか。で、私が「こんな石で世の中がどう変わるっていうの」って聞いたんです。すると主人は「ほれ、あのラジオがポケットの中に入るくらいに何でも小さくなるんだ」と。その時代のラジオってあなた、五球スーパーとか言って、家には当時オンキョウ・ラジオというのがあったんですけど、ドーンと大きかったんですよ。それがポケットに入るってんですから、私もびっくりしましてね。主人は大変な発明をしたんだと本当に尊敬しました。ですから当時、ラジオでは「新諸国物語」なんてやっていまして、それがポケットの中から聞こえてくるなんて想像もできませんでしたけど、主人が言うんですから間違いはないと思ったんです、はい。

——稲垣さん、覚えていらっしゃいますか？

稲垣　ええ、まあ。

夫人　ちょうど四人目の子供が生まれたばかりで、隣でスヤスヤと寝息を立てていました。それが先ほどあいさつした娘で三七ですから、三七年前のことなんですね。

「経済と技術で勝つ」という熱い思い

石炭廃液の中からゲルマニウムの回収に成功したというニュースは、すぐにアメリカの専門誌『エレクトロニクス』に取り上げられた。すると、稲垣家を次々と共産圏の人たちが訪ねて来るようになった。いんぎんで押しが強く、一度家に入れるとなかなか帰ろうとしない不気味な人たちであったという。東西冷戦の中で、ゲルマニウムが当時いかに貴重な戦略物資であったかを物語る話である。

夫人　主人の発明が日本の新聞に載るとすぐ、今度は外国の雑誌社が取材に来ました。特にアメリカの『エレクトロニクス』という雑誌が大きく取り上げてくれました。するといろんな国の大使館から、やりかたを教えてくれって来ましたの。特にソ連や共産圏の国の人たちはしつこいくらい家にやって来まして、帰らないんです。昼も夜もなく来て粘るんです。もう怖くなりましたけど、主人の発明が国の運命を左右するほどの大発明だと知って誇らしく思いました。

――誇らしさ半分、怖さ半分でしたね。

夫人　ええ、本当に怖い思いをしました。

稲垣邸はオリンピックのための道路拡張で現在の場所、松濤の高台に移転したが、当時は山手通り

と井ノ頭通りが交差する付近に住んでいた。すぐそばには多くの米軍家族が住む広大なワシントン・ハイツが広がっていた。それは、現在の国立競技場から代々木公園のはずれまで全部が入る、広大な治外法権の米軍家族専用の大団地であった。

夫人 昭和二八年は冷害でお米のできが悪くて、食糧の配給がとだえがちでした。家は生まれたばかりの赤ん坊も入れて四人の子供を抱えていましたが、主人は発明に没頭していましたから雑事には振り向きもせず、私がとても大変でした。

――なるほど。

夫人 まだこの辺も牧歌的な時代でした。富ケ谷あたりもまだ夜は真っ暗でしたしね。あの交差点をラーメン屋さんがチャルメラ吹いてね。そんな暗い町で一か所だけ電気がこうこうとついていて豪華な暮らしをしていたのが、そこのワシントン・ハイツでした。昼間は昼間で、そこの山手通りを、まだ砂利道でしたが、ハイツから出てきたこんなに大きなキャデラックがスーッと通り過ぎていく。そのあとから日本の車がけたたましい音を立てて砂ぼこりを舞い上げる。キャデラックはアッという間に向こうに消えるのに、日本の車はいつまでもヨタヨタと消えないんですよ。やっと車がいなくなったら、今度はGI。その腕には日本の女性がブランコするようにぶら下がっている。GIはみんな背が高いから、日本の女性は背伸びしてぶら下がっているんです。ああ、戦争には負けたくないもんだとね。ですから、主人が頑張ったのも今に見ていろってね。日本は経済と技術で負けたんだから、今度は経済と技術で勝つんだと。私は今の日本の繁栄は、そんな気持ちでやってきた賜物だと思っているんです。

記憶力に秀でた稲垣夫人は事柄の細部まで情景が目に浮かぶように語ってくれた。私たちのいう「生きのいい話」の典型であった。あまりにカメラが夫人に向き続けたのが気になったのか、あとから稲垣夫人から電話と手紙が寄せられた。「主人を差し置いて私が出しゃばりすぎました。どうか私のしゃべりをカットしてください」と奥さん。「そうは参りません。奥さんのお話がなくては番組が終われませんので、あしからず」

放送のあと、ある財閥系の大企業から抗議の電話があった。稲垣さんの業績は実際には企業化されず世間の役には立たなかったが、自分たちの資源回収は実際に企業化され世間の役に立った。役に立たなかったほうをなぜあのように長い時間をかけて取り上げるのか、なぜ自分たちの役に立った業績を取り上げないのかと言うのである。

しかし、私たちは業績ゆえに稲垣さん夫妻を取り上げたのではなかった。もともとすぐにシリコンの時代を迎えるのだから、ゲルマニウムの回収など私たちの番組ではさほど重要ではなかった。ただ稲垣夫人の語り口が戦後という時代をほうふつとさせ、当時の日本人がひそかに胸に秘めていた「今度は経済と技術で勝つのだ」という思いを夫人が言い当てていると感じたから、番組のエピローグとして取り上げたのである。それは稲垣さんのように戦前から戦後を生きた科学技術者たちの共通した感情であった。戦後の戦争を技術で勝ち抜かねばならないという、彼らの感情と意志が戦後の産業復興の出発点になったのではないかと、私たちは多くのインタビューを通じて感じていたのである。

第 4 章

接合トランジスタの発明

ショックレーの失意と発奮

ジョン・バーディーンとウォルター・ブラッテンの発明した点接触型トランジスタは構造的な弱点があった。ゲルマニウム結晶の表面に細い二本の針をミクロン単位の間隔で接触させ、その状態を持続することが非常に困難だったからである。

ウエスタン・エレクトリック（WE）社は一応量産に入り、ベル電話会社が電話回線に使用するが、あまりに故障が多くて生産を中止してしまうのである。

写真右は、WEで製造した点接触型トランジスタ。円筒状のケースには円い窓が開いている。この小さな窓からピンセットで中の針を調節したのである。その作業は人間業を超えていた。やってもやっても熟練度が上がらず、したがって生産歩留まりが劣悪であった。

写真左は、RCAが試作した樹脂封じにした点接触型トランジスタである。透明の樹脂の中に二本の針が結晶表面に接触しているのが透けて見える。最良ポイントに針を接触させたあと樹脂で固定してしまえば、針がずれて劣化するという故障が防げると考えたのである。ところが、つくってみると樹脂が温度変化で伸縮し、たちまち針がずれてしまったのである。針を固定するために技術者たちは塗炭の苦しみを味わうのだが、どれもうまくいかない。結局、点接触型トランジスタは量産に向かず実用的でもないということになり、生産中止に追い込まれたのである。この事実を見て多くの人たちが、やはり真空管に勝る装置はない、トランジスタというのは結局オモチャだったのかと半導体の将来を危ぶんだ。

さて、ここで話を一九四七年一二月、あの固体による増幅現象が発見されたときに戻してみよう。

ＲＣＡが製造した点接触型トランジスタ

ＷＥが製造した点接触型トランジスタ

何人かの日本人技術者から次のようなエピソードを聞いたことがある。

バーディーン博士とブラッテン博士が初めてゲルマニウムの結晶を使って信号を増幅することに成功したとき、チームリーダーのショックレー博士は研究所に不在で、世界的な発見に名を連ねることができなかった。そのことがショックレー博士を非常に発奮させ、接合トランジスタの理論を生み出す心理的バネになったというのである。これは本当の話だろうか。まず、バーディーン博士に聞いてみた。

——発見なさった頃、ショックレー博士は何をなさっていたのですか。

バーディーン　私たちのやっていた実験には興味を示していましたが、私やブラッテン博士ほどではありませんでした。当時、ショックレー博士の最大の関心事は、金属とプラスチックの転移に関する研究でした。そのテ

ーマは博士と私が前年の夏にヨーロッパで研究所巡りをしたとき、博士が興味を持つようになったのです。ただ私たちは毎日昼休みには会って話をしましたので、実験室では今何が起こっているか博士も充分わかっていました。

――点接触型トランジスタについては、ショックレー博士はどう考えていたのでしょうか？

バーディーン　もちろん博士はこの新しい理論に感激していましたし、荷電粒子の流れ方にも興奮してくれました。ところが、一二月のデモンストレーションから一か月ほどたった頃、博士が突然、接合トランジスタと呼ばれるものを提案したのです。ゲルマニウムの表面に接触させる針は必要なく、電気の流れはすべて半導体の中のPN接合と呼ばれるものの間で起こる仕組みになっていました。

ショックレー博士がベル研究所を不在にしていたというのは、どうも事実と違っているようであった。多くの人がショックレー博士の不在を否定した。しかし、その歴史的瞬間には現場に姿がなかった。やはり発見の瞬間に居合わせなければ、業績に名を連ねることができないのだろうか。もともと、ショックレー博士のアイディアで実験を行い、それが新しい発見の発端になったのに。

ショックレー博士が一九七六年に米IEEE学会誌"Electron Devices"に書いた手記「接合トランジスタ発明までの道」の中にはこうある。「点接触型トランジスタの誕生は、グループ全体へのすばらしいクリスマスプレゼントになった。私もその喜びにあずかった。しかし、私の心には葛藤があった。というのは、私は発明者の一人ではなかったために、グループの成功に手放しでは意気揚々とはなれなかったのである。私は八年以上も前から努力し続けてきたにもかかわらず、私自身の手では重要な発見を行えなかった。私は欲求不満になっていた。この欲求不満がきっかけとなって、私は次の五年

間にどんどんトランジスタの特許を出すようにベストを尽くした」と回想し、彼の研究ノートの記載量が一九四七年一二月二四日、つまり点接触型トランジスタの極秘公開の翌日から、翌年の一月二四日までの一か月間にピークに達したと書いている。その中に、針のない「接合トランジスタ」の理論が記述されていたのである。

■一か月で生まれた革命的理論

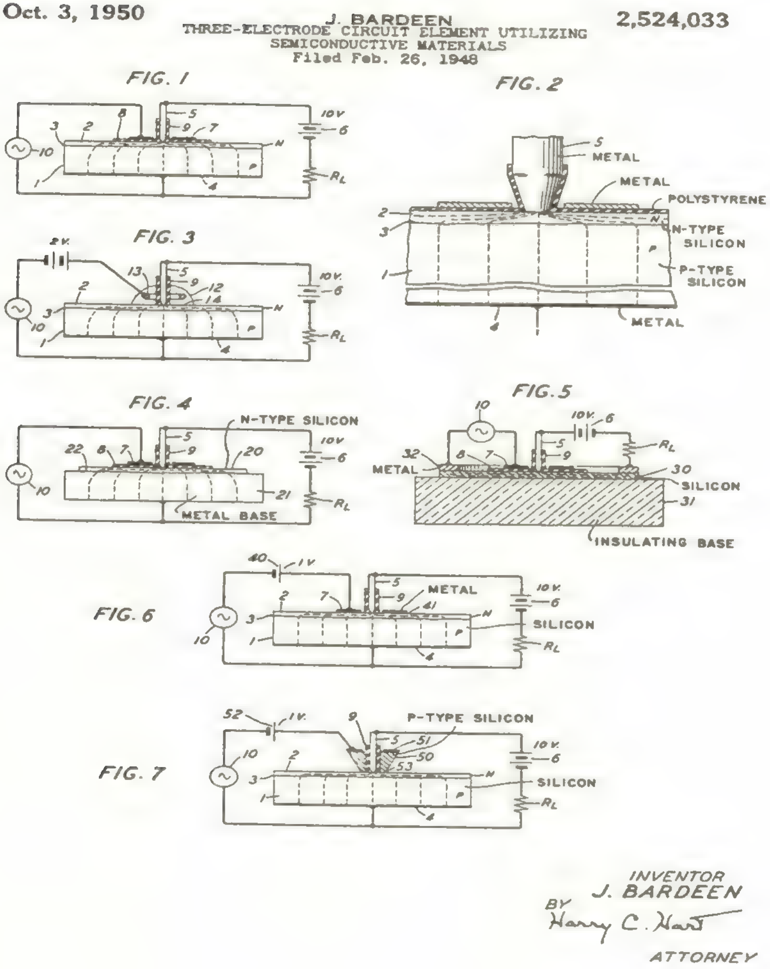
――ショックレー博士は、ご自分が発明者の一人ではないと、大変失望したと聞いていますが。

バーディーン 初めのうちは失望していなかったと思います。電界効果トランジスタの理論に関しては、特許は自分のものだと彼は思っていたからです。点接触型トランジスタの理論についての特許はブラッテン博士と私のものであっても、その発端となった電界効果トランジスタについては彼に優先権があると考えていました。ところが、特許を申請する段になって、彼の案は不完全だとわかったのです。彼の特許文書の中には幾つか例示がありましたが、私にはどれも成功したとは思えませんでした。文書を読むかぎりでは成功していませんでした。ですから、ショックレー博士が電界効果トランジスタの理論で基本的特許を得るのは不可能でした。これが彼を非常に失望させたのです。

――では、博士とブラッテン博士はどんな特許を申請なさったのですか?

バーディーン 私たちは、点接触型トランジスタと電界効果トランジスタの両方について基本特許を申請しました。

図14　電界効果トランジスタの特許図面
——バーディーン



──電界効果トランジスタはバーディーン博士の特許だったのですか?

バーディーン これは二月に申請しました。いちばん最初に申請した特許だと思いますよ。そして大変興味深くおもしろいことには、現在超LSIに使われているトランジスタは電界効果トランジスタで、結晶表層部にできる反転層を利用してつくられているのですが、その基本特許は私が取りました。電界効果トランジスタを最初に考えたのはショックレー博士でしたが、現代の電界効果トランジスタでも広く使われている反転層利用の理論は私が基本特許を持っていたのでした。

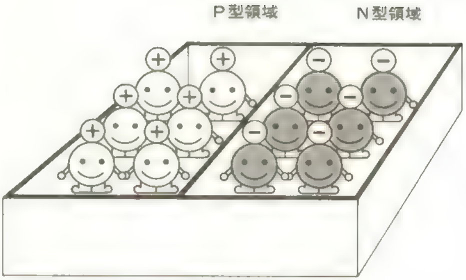
図14は、バーディーン、ブラッテン両博士に下りた電界効果トランジスタについての特許である。点接触型トランジスタ発明のきっかけになった電界効果による固体増幅素子の実験はショックレーの発想で行われたが、特許を申請するには不完全だったというのである。それをより完全な理論にして特許を申請し、認められたのはバーディーン博士たちだったのである。自分が最初に考えた電界効果型固体増幅素子が特許申請には不完全だと知ったショックレーの無念さ悔しさは、大変なものだったに違いない。その無念さが歴史を変えた。彼がわずか一か月で考えた革命的な理論が、その後の半導体史を激しく変えていくのである。それが接合トランジスタの理論であった。

■「PN接合」の考え方

さて、ここで半導体についての知識を整理しておこう。

半導体というのは大きく二つのタイプに分かれる。真性半導体と不純物半導体である。真性半導体

図15　ＰＮ接合



はまったく純粋で何も含まない半導体物質。これは現実にはほとんどありえないが、不純物をまったく含まない純度一〇〇パーセントの半導体を言う。すでに何度も触れてきた結晶純度を上げる努力は、実は真性半導体に限りなく近づく努力であった。さて、これに微量の伝導物質を加えて真性半導体を意図通りの不純物半導体に変えていくのが、トランジスタをつくる基本である。

半導体の中を電気が流れるというのは、実はこの伝導物質が電気を運ぶわけだから、半導体の中に伝導物質を混ぜるのは大変重要な操作になる。これを半導体の世界では「不純物を添加する」と言うが、純度が限りなく一〇〇パーセントに近い真性半導体に対しては伝導物質は不純物だというわけである。不純という語感のイメージとは裏腹に、伝導物質はこれまた超高純度に精錬された物質でなければならないのは当然である。不純物半導体はN型半導体とP型半導体という二つのタイプに分かれる。真性半導体にどのような伝導物質が添加されているかによって分かれるが、これはまったく単純である。N型の伝導物質（不純物）が添加されていればN型半導体、P型伝導物質（不純物）が添加されていればP型半導体というわけである。

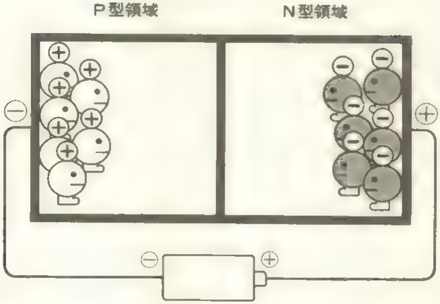
では、N型伝導物質（不純物）とP型伝導物質（不純物）の違いは何か。「自由電子」が多い伝導物質

か、「正孔」が多い伝導物質かによって分かれるのだという。リン、ヒ素、アンチモンなどはN型の伝導物質。ボロン、アルミニウム、ガリウム、インジウムなどはP型伝導物質というわけである。

ところで、電子が多くなる伝導物質を添加された半導体はマイナスの性質を帯びるので、Negative（陰性）の頭文字をとってN型。逆に電子が不足する伝導物質を添加された半導体には、見かけ上「正孔」が出現してプラスの性質を帯びるので、Positive（陽性）型、つまりP型と呼ぶ。

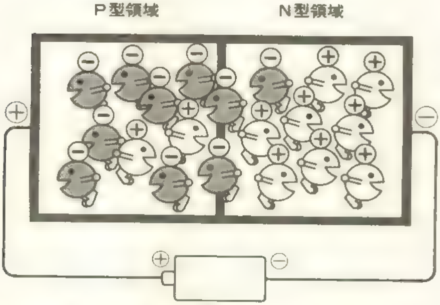
したがって、N型半導体は結晶中にマイナスの性質を帯びるN型伝導物質（不純物）が添加されてい

図16　ＰＮ接合の逆方向接続



「正孔」はマイナスに、「自由電子」はプラスに引きつけられるため、逆方向接続では、半導体の両端に電気の運び屋が集まり、不導体となる

図17　ＰＮ接合の順方向接続



順方向接続では、運び屋が自らの領域を飛び越えてプラスとマイナスの方向へ移動するので、導体の性質が生じる

ることであり、P型半導体はプラスの性質を帯びるP型伝導物質（不純物）が添加されていることである。

では、ショックレー博士の「PN接合」の理論とはどのような考えなのだろうか。以下の記述も、例によって素人流のまことにラフな理解を書き綴ったものである。素人が自分の理解を確かめるために書いた覚え書きと言ったほうがいいかもしれない。

図15のように、一個の半導体結晶の中にN型半導体とP型半導体が隣接してつくり込まれたと仮定する。

N型伝導物質（不純物）が溶け込んでいる領域とP型伝導物質（不純物）が溶け込んでいる領域が、同じ結晶の中で隣接している状態である。当然、外見は一個の結晶にすぎない。けっしてP型半導体とN型半導体を別々につくって貼り合わせたのではない。

このときの状態は図15のように、P側はプラスの性質を帯びた電気の運び屋が多く存在し、N型はマイナスの性質を帯びた電気の運び屋が多く存在し、それぞれの領域で均一に分布している。

この状態で電池をつないでみよう。図16のようにつなぐと、プラスの運び屋はマイナスの電極に引きつけられ、マイナスの運び屋はプラスの電極に引きつけられ、電気の運び手は結晶の両極に張りついてしまう。こうなると結晶内部には運び手不在の空白領域ができて、結局電気が流れない。したがってこの場合、半導体は電気抵抗の大きな不導体になる。

今度は電池を図17のようにつなぎ替えてみよう。すると、プラスの運び屋は向かい側のマイナス電極に引きつけられ、同じ理屈でマイナスの運び屋も向かい側のプラス電極に向かって移動する。こうして、この場合は半導体は電気抵抗の小さい導体になる。

つまり、一つの半導体結晶にPN両領域が接合状態で形成されていると「電気の一方通行性」が現れ、電池を順路につなぐと電気が流れるが、逆路につなぐと流れないといった性質を持つようになる。これがPN接合の原理である。

PN領域が接合状態になっている半導体結晶をダイオードと呼ぶが、電気の一方通行性を生かして交流を直流に変換する回路の整流素子や、高周波電流から可聴範囲の低周波電流を取り出す検波器に使われる。つまり、二極真空管と同じ働きを固体で実現できたことになる。

■二極管とそっくりで、針がない!

さて、これからがいよいよ接合トランジスタの原理である。

今度は図18のように一つの半導体結晶の中にNPNのサンドイッチ構造をつくり込む。そこでは、極めて狭いP型層の両側にN型領域を隣接させてある。

両端のN型領域間に大きな電池を順路につなぐと、N型半導体の中のマイナスの運び屋が中間の薄いP型層を突き抜けて移動し、半導体の中には大電流が流れる。

この状態で、P型層に小さな電池をつなぐ。マイナスの電位がかかるようにつなぐと、P型層を突き抜けて流れているマイナス電荷（電気の運び屋）は反発し動きが鈍るので、結果として半導体の中を通過する電流が阻害される。今度はP型層にプラスの電位をかけると、それが吸引力になるからマイナスの運び屋の動きは加速されるので、流れる電流は増加する。

このP型層に微弱な信号電圧（プラス・マイナスの電気変化）をかけると、半導体の中を順路に流れて

いる大電流が微弱信号に比例して大きく変化する。

この接合トランジスタの動作原理を、いかにしたらテレビのお客様にわかりやすく伝えることができるか、伝え手としての試行錯誤が必要であった。絶対に伝えなければならないこと、余裕があれば伝えたほうが理解に役立つこと、伝えると混乱することを整理した。そして、説明すべき事柄を可能なかぎり短い「単一要素」に分解して「理解しやすい順序」に組み立てた。以下は、その覚え書きである。

〔1〕接合トランジスタは――

①一つの単一結晶である。

②その中に三つの領域がサンドイッチ状に隣接している。けっして貼り合わせたものではない。

③三つの領域とはN型領域、P型のごく狭い領域（P型層）、N型領域である。強調すべきはP型領域がミクロン単位の層であること。もう一つのタイプにPNPの構造もあるが、混乱するので言わない。

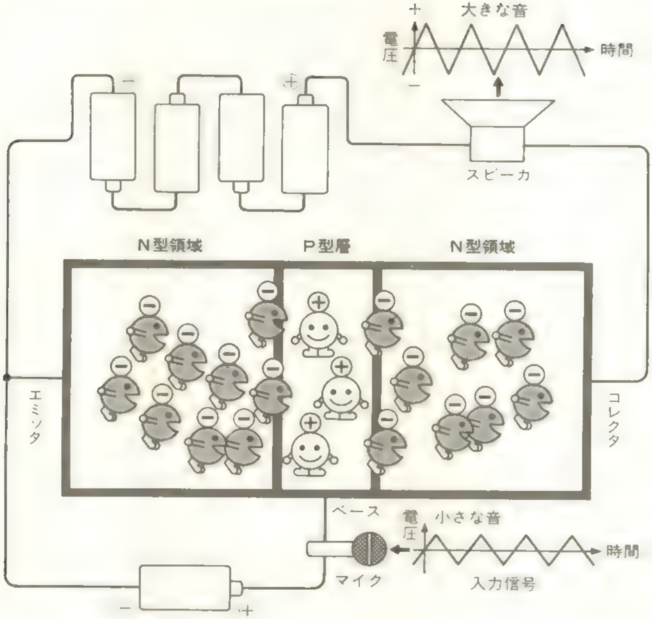
④N型領域とはN型の伝導物質（たとえばリン、アンチモンなど）が混入されている部分であり、P型領域とはP型の伝導物質（たとえばガリウム、ホウ素、インジウムなど）が添加されている。

〔2〕こうした単一結晶ができたと仮定して、これを図19のようにつなぐ。

実はショックレー博士は理論を考えたのであって、このような結晶を現実につくって見せたのではない。もしも、前記のような結晶をつくることができ、図のようにつなぐとすれば、それは固体増幅ができるであろうと仮説を立てたのである。

①まず、図19の右側の破線で囲ってあるA回路に目を向けてほしい。

図18　ＮＰＮ接合トランジスタの増幅原理

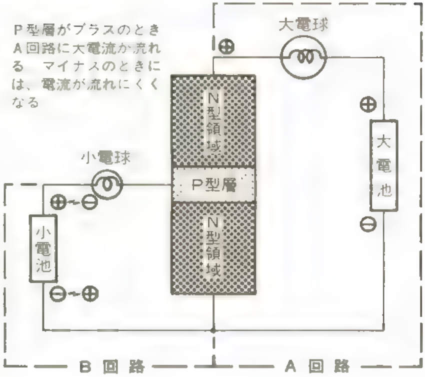


結晶の上端に電線をつなぎ、電線は大電球を経由して、大型電池のプラスにつなぐ。電池のマイナス端子から出た電線を結晶の下端につなぐ。

②図の左側、破線で囲ってあるB回路は、結晶のP型層につないだ電線を、小電球経由で小型電池のプラス端子につなぎ、小型電池のマイナス端子を結晶の下端につなぐ。

③すると、A回路には大電流が流れる。B回路を構成するP型層のプラス電位が電気の運び屋である電子(マイナス)を引きつけるからである。

図19　接合トランジスタの動作原理



④B回路の小電池をプラス・マイナス逆にすると、つまりP型層にマイナスがつながると、A回路の電子（マイナス）がP型層（マイナス）に反発してP型層の前で渋滞する。つまりA回路には電流が流れにくくなる。

⑤P型層に加える電圧を変化させてやると、A回路の大電流はP型層の電圧変化に比例して変化する。

⑥B回路の変化は電池が小さいから弱小変化であり、A回路の変化は電池が大きいから強力である。

⑦B回路の弱小変化では何も動かせないが、A回路の強力変化は仕事ができる。

テレビ表現というのは「瞬間理解」の構築という側面がある。見る側が短い時間で理解できるように、あらゆる事柄について表現上の工夫をしなければならない。これは活字世界の表現とは違って、見る側はページめくりで前に戻って見ることができないからである。強烈な印象として耳に残る言葉を選び、一目でわかるような画面上の配慮が必要である。余計なことをダラダラとやることが最も危険である。そのような観点から上記の事柄をもう一度点検する必要があった。

　最初に気がついたのは、問題の結晶をいかに表現するかということであった。最初はNPNの三文字を書き込んだ長さ二〇センチほどの長方形の箱を用意した。これを結晶に見立てて説明しようと考えた。だが、これでは三枚の板を貼り合わせたように見える。これは困る。特に狭いP型領域は結晶

の中の薄膜層であることを強く印象づけることが肝要であるのに、貼り合わせの印象を与えるとしたら、それは致命的である。思案の末、全体を透明なエポキシ樹脂で成形することにした。その真ん中に色違いの薄い板を埋め込んでP型層にした。

この透明な棒を手にして「接合トランジスタというのは見かけは一つの結晶。中に見えるように、薄い層がつくり込まれている。これがP型層」と、まずは接合トランジスタのイメージを焼き付ける。当然、これは拡大模型であること、実際は小さな銀色の粒であり透明ではないことを補足する。そして、NPNの各部分にはそれぞれN型の伝導物質、P型の伝導物質、N型の伝導物質が混入されていることを強調する。

さて、これにどのような回路をつなぐのかを伝える必要があるが、ここで気がついたのは、見る側に立てば、結晶を立てるか寝かすかが大変重要だということだった。結晶を横に寝かすと回路が左右に対置できず、テレビのお客様が一目で理解するのが難しい。だから、結晶は上下に立てて中央に置き、左右にB、A回路をふり分ける。左のB回路は白い色の電線でつなぎ、右のA回路は青い電線でつなぐ。結晶の中を二つの回路が通過していることを印象づけるためである。しかも、それらが際立って見えるように、半透明のプラスチック板に部品を取り付け配線する。透明板だと後ろの雑物が気になり、ただの板だと背景がそっけなさすぎる。

つくってみると、その印象は何と三極管と似ていることか。P型層は三極管のグリッドと同じではないか。それは水流調節のバルブや一方通行路の交通信号のように働き、A回路を流れる大電流を変化させる。B回路の微弱変化がA回路の大電流を変化させる。「BがAを制御」の図式はまぎれもなく三極管の原理であり、点接触型トランジスタの原理でもあった。これを視覚表現として強調するには

B回路には小電球をつなぎ、A回路には一〇〇ワットの大電球をつなぐ。小電球の微弱な明滅に比例して一〇〇ワット電球が強烈に明滅する。そして最後に「しかも、ご覧ください、針がない。ここがポイント。針のないトランジスタ、それが接合トランジスタだったのです」と、しめくくる。

世界一流の頭脳が集まる

針がなくなれば、結晶に微小な針を立てるという製造上の困難もなくなるに違いない。また、製造後に針がずれて劣化するというような故障もなくなるに違いない。ショックレーの考えた接合トランジスタの理論は、産業界に大きな反響を呼んだ。ベル研究所をはじめ、多くの電気メーカーが接合トランジスタの製造法を開発しようと走り出した。

しかし、どうすれば単一結晶の中にNPNの三つの領域をつくり込むことができるのか。もっと言えば、いかにすればN型結晶の中に非常に薄いP型層をつくり込むことができるのか。当時の技術水準では、その方法が見つからなかった。すでに半導体結晶をP型にすることも、N型にすることも、その方法はわかっていた。N型にしたければN型の伝導物質（不純物）を溶かし混ぜてやればいいし、P型にしたければP型の伝導物質（不純物）を溶かし混ぜてやればいい。しかし、一つの結晶の中に、それらを隣接させてつくり込むことはできなかった。特に数ミクロン（一〇〇〇分の数ミリ）の中でP型領域（つまりP型層）を結晶の中につくり込むことなど、ほとんど不可能に思えた。こうした理由で、ショックレーの理論はなかなか現実のトランジスタとして世に現れなかった。理論先行で製法があとから追いかけたのである。

ベル研究所では多角的な支援対策を組織してショックレーの打ち立てた接合トランジスタの実現を推進した。物理、化学、冶金、機械工作など関係する部門の専門家が動員された。戦前から化学部門でコンデンサーの研究を続けてきたアディソン・ホワイトさん（八二歳）は、一九五〇年からトランジスタの開発に深くかかわるようになった。組織的に進められることになった半導体材料についての研究の管理調整をするのが彼の役目であった。多角的で精力的に進められる関連セクションの研究が、互いの成果を有効に利用し合ったり助け合ったりできるように調整するのが仕事であった。ホワイトさんが絶頂期のベル研究所を懐かしく回想する。

ホワイト　知性的な活動といった面から見れば、非常によい職場環境でした。特に研究の分野では働きやすい環境だったと思います。研究所全体が非常に活気に満ちていました。知性という面からいえば、アメリカばかりでなく世界の科学界を背負って立つようなリーダーばかりでした。特に物理、化学の分野では非常に優秀な人ばかりで、一九三七年頃からこの研究所で働いていた物理学者のうち七人もノーベル物理学賞受賞者を出しています。ですから、科学者はベル研で働くことにあこがれ、世界中の優れた人材が集まっていたのです。

――トランジスタの開発はどのように進められたのですか？

ホワイト　当時、ベル研の中ではトランジスタの研究開発のためにあらゆる才能が総動員されていました。さまざまな分野の超一流の人材が、トランジスタの開発のために投入されたのです。それらをトランジスタ・ファミリーと呼んでいましたが、

ホワイト氏

問題が起きる度に集まってはそれぞれの立場から議論の応酬をしたものです。ファミリーは非常にしばしば集まりましたが、そんなとき、ショックレー博士はすっくと立ち上がって、その問題全体を見事に解きほぐしました。まったくためらうことがありませんでした。問題が提示されると、ほとんど間髪を入れず瞬時に問題を解決したものです。本当にショックレーという人は頭脳明せきな物理学者でした。私が出会った中でも最高の物理学者の一人だったと思います。

結晶純度を高める新精製法

世界一流の頭脳をトランジスタの開発に結集したベル研究所がとりわけ力を入れたのが、半導体物質の純度を上げる新しい精錬法の考案であった。半導体結晶に微量な伝導物質を添加して結晶をN型に変えたり、P型層をつくり込んだりするのだが、結晶に阻害物質が入っていては肝心の伝導物質が役に立たない。「電気の運び屋」が動き回れないからである。だから、結晶は阻害物質がまったく入っていない、純度一〇〇パーセントであることが理想である。しかし、現実にはありえないので、その純度を限りなく一〇〇パーセントに近づけるのが望ましい。こうした理由からベル研究所は結晶純度を上げる精錬法を追求したのである。そして一九五四年、ウィリアム・G・プファンがゾーン・リファイニングという精錬法を考案したのである。ホワイトさんがベル研究所の展示室で、写真のような実物を前に解説してくれた。

ホワイト　これは非常に初期のゲルマニウム精製装置のモデルですが、オリジナルではありませ

ベル研究所に展示されていたゾーン・リファイニング装置

ん。いわゆるゾーン・リファイニングと言ってゲルマニウムを精製するための装置です。これはウィリアム・クランツの発明ですが、これを改良して効率のよい装置にしたのがウィリアム・G・プファンです。プファンはピカール・オルセンの協力を得て完成しました。

――これで純度がどれくらいに上がったのですか？

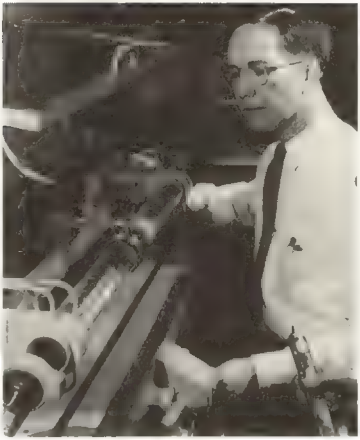
ホワイト　不純物の含有率が一〇〇〇万分の一から一億分の一以下に精製されました。つまり、一億個のゲルマニウム原子中、不純物原子の割合が一個にすぎないということです。

――なぜゾーン精製が必要だったのでしょうか？

ホワイト　半導体素材を必要な純度まで上げる方法がほかに何もなかったのです。仮に半導体結晶をトランジスタにするために結晶の伝導性をコントロールしようとすると、半導体素材、たとえばゲルマニウムは、ゲルマニウム原子一〇〇万個に対して添加する伝導物質（不純物）原子が一個といった状態にしなければいけないのです。伝導物質というのはたとえばホウ素のような物質ですが、これの添加によって得られる伝導性より高い伝導物質がすでに結晶に入っていると、せっかく意図的に添加するホウ素の効果がいわばノイズの中に消滅してしまうことになります。ですから、半導体材料の中から伝導物質を邪魔する不純物を事前に取り除いておかねばならないわけですね。

――ゾーン精製のプロセスは、半導体の開発史上どんな意味があったのでしょうか？

ホワイト　半導体を使って装置をつくろうとすると、それがダイオードであれトランジスタであれ、半導体結晶をいかに精密にコントロールするかが大変重要な課題でした。半導体開発の上で、この「結晶の伝導性を精密にコントロールする」ことこそが突破すべき最難関の一つでした。もちろん結晶のコントロール以外にも半導体には解決すべきさまざまな側面がありましたが、素材の純度ということに関してはゾーン・リファイニングが明らかに突破口となりました。



ゾーン・リファイニングを考案した
ウィリアム・G・プファン

――それじゃ、最初のトランジスタに使った結晶の純度はどうやって確保したのですか？

ホワイト　最初のトランジスタはゲルマニウムを使っていましたが、ゾーン精製をしたゲルマニウムではありませんでした。当時はゾーン精製がまだ発明されていなかったのです。もちろん、当時としては知られている技術をすべて駆使して精製度を上げることはしましたが、純度の高い結晶ができるのはまったく偶然のあなたまかせといった状態でした。ですから、バーディーン博士やブラッテン博士がトランジスタ効果の発見に遭遇できたのも、結晶純度の点から見ると本当に偶然中の偶然で、まれに見る幸運だったとしか言いようがなかったのです。

一七九ページの写真にあるように、長さ二メートルほどの石英管の周りに四か所、直径〇・五センチほどの銅パイプがコイル状に巻きついているだけの装置であった。原理はこうである。純度の低いゲルマニウム結晶をグラファイト（黒鉛）のボート状容器に入れる。それを石英管に入れ、いちばん奥の銅コイルの下にセットする。ボートには牽引用のひもがついていて、石英管の中を右端から左端まで超微速度で移動させることができるようになっている。銅コイルに高周波発生装置（巨大な電子レンジのような装置）から高周波電力を送り込んでやる。コイルから強力なエネルギーが放射され、やがて石英管の中のグラファイト容器が赤熱し、中のゲルマニウムは溶解する。すると、溶け込んでいた不純物は表面に浮き上がってくる。頃合を見計らってボートを時速数センチの超微速度で左に移動させると、浮き上がっている不純物はコイルに掃き寄せられるように結晶の右端に移動する。したがって、結晶の右端は不純物の塊だから切り捨てる。

この操作を何回も繰り返すことで、結晶はさらに純度を高くすることができる。超高純度も不可能ではない。そこで、石英管にコイルを数か所セットして次々とその中を通過させれば、自動的に精錬を何回も繰り返したことになる。

半導体技術に大きな転機をもたらしたゾーン・リファイニング装置を実際に稼働させて、映像に撮らなければならない。一枚の写真や展示室の展示品だけでは不充分だ。そこで、今もどこかで使われていないか四方八方探し回った。ところが、半導体材料としてシリコンが主流になると、ゾーン・リファイニング装置は使われなくなった。シリコンは融点が高い上に、他の物質と化合しやすいため、ゾーン精製という方法そのものが使えなくなったからである。したがってゾーン精製は、ゲルマニウム時代が終わるとともに姿を消した。頼みの西澤研究室にも装置はなかった。

三浦恒雄氏が再現したゾーン・リファイニング装置

そんなある日、集めた写真資料の中の一枚を見てひらめいた。半導体勉強会の記念写真であった。菊池誠さん、西澤潤一さんなど大勢の研究者たちが、ある建物の前に並んでいた。その建物が東北大学の金属材料研究所。おそらくゲルマニウム結晶についての勉強会がそこで行われたのであろうと推察できた。さっそく仙台に飛んで増本健所長に面会を求め、実情を話して協力を求めた。しかし、不運にもゾーン・リファイニングの装置を廃棄したばかりだという。あきらめきれずに、何か片鱗でも残っていないかと聞いてみた。

だが、装置は片鱗すら残っていなかった。私たちの落胆ぶりを見て増本所長が「それほど必要な装置なら、つくったらどうですか」と助言してくれたのである。幸いにも高周波発生装置は、金属材料の研究に今でも使っているというのである。それを使えば、ゾーン・リファイニングの装置は手づくりで充分だというのである。「幸いベテランがいますよ」と紹介されたのが、結晶作製室の技師三浦恒雄さん（五九歳）

であった。三浦さんは結晶づくりに一生をかけてきたプロであった。「昔はゾーン・リファイニング装置なんてみんな自分でつくったものですよ。出来合いなど売っていなかったんですから」と乗り気であった。「コイル一個のゾーン・リファイニングなら簡単ですから」と、さっそく工作にとりかかってくれた。こうしてできたのが写真の装置である。

あとは、コイルに高周波電力を流すだけだと気楽に考えていたら、ことはそんなに簡単ではなかった。まず、この装置をどこにセットするかという設置場所が問題になった。強力な高周波発生装置は小さな放送局のようなもので、コイルとの距離を間違うとコイルが発熱しないというのである。また、装置の周辺に不用意に金属線などを置くと、それに高圧電気が発生し、放電したり感電したりする危険がある。設置場所が決まると、今度はパイプ状になっている銅コイルの中に水を流す。こうしないと銅コイルが発熱で溶けてしまう。戦後のある時期は、水道の水圧が弱くてコイルが溶けたこともあったという。次にガス管を取り付け、石英炉に水素ガスを流す。中に酸素があると、ゲルマニウムが酸化して使い物にならなくなる。そこで、酸素と結合して石英管の中を完全無酸素にしてくれる水素を流すのである。とにかく、写真一枚からは想像もできないほど煩雑で微妙な操作が必要であった。

角砂糖を氷砂糖にする

接合トランジスタが実現するまでにはもう一つの難関があった。それが単結晶である。電流の担い手である電子が結晶内部をスムーズに移動できるためには、結晶が微細な結晶の集合体である多結晶ではなく、全体が単一の結晶でなければならない。前章で触れたように角砂糖は一見サイコロ状の塊

ティール氏（左）とリトル氏（右）

に見えるが、実は微小な結晶が寄り集まっているにすぎない。これに反して、氷砂糖は全体が単一の結晶である。角砂糖の状態では、電子が移動しようにも山越え谷越えですぐに力尽きてしまい、遠くに行けない。だから、多結晶ではトランジスタができない。実験室レベルでは、ゲルマニウムを溶かすと部分的には単結晶になっているところがあるので、それを切り出して使えばいい場合もある。しかし、量産を前提に考えると、単結晶の結晶棒を製造することが絶対の条件であった。

　これを実現したのが、ベル研究所で結晶の研究をしていたゴードン・ティール博士（八四歳）であった。彼はさらにこの単結晶づくりの技術を応用して、後に接合トランジスタの最初のタイプである成長型トランジスタの開発に成功する。そして、その技術を買われて後に石油機器会社のテキサス・インスツルメンツ（ＴＩ）社にスカウトされ、半導体事業の基礎を築く人物である。

　ティールさんは生まれ故郷のテキサス・ダラスで余生を送っていた。閑静な住宅街は原生林かと思うほどの大木に囲まれていた。ティール邸は木造平屋建ての質素な住宅であった。いつもは老夫婦だけの二人暮らしだそうだが、その日は先客があった。

単結晶製造ではティールの共同研究者ともいうべき立場にあったJ・B・リトルさんであった。ニューヨーク在住の元エンジニアであるが、私たちがインタビューを申し込むと、彼は「メインの研究者はティールさんですから、インタビューはティールさんと一緒に受けたい。ティールさんが存命であるかぎり、自分は彼の補助的な証言者でしかない」と言うのであった。

ティール　最後に会ったのはいつだったかな？

リトル　もう三〇年も前ですよ。ニューヨークで夕食を共にして別れたのが最後でした。その後、私はベル研を離れてIBMに移りました。

ティール　IBMじゃうまくいったかい？

リトル　いろんなことをやりましたが、IBMでは当時、トランジスタの話を持ち出すことができませんでした。トランジスタはベル研の独占的な仕事でしたから、IBMじゃ口にできない雰囲気がありましてね。

ティール　ほう。

ティールさんがゲルマニウムという物質を研究するようになったのは、ブラウン大学時代の恩師が世界的なゲルマニウムの権威だったからである。博士号を取得したあとベル研究所に就職。ここでもゲルマニウムを研究の対象に選んだ。当時はゲルマニウムの研究をしようとすると、自分で結晶の製造からやらなければならなかった。もちろんベル研究所では彼を除いてゲルマニウムに関心を持つ人はだれ一人いなかった。まして彼のやっていることに関心を持つ人もいなかった。一九三〇年代、ベル研究所で最初にゲルマニウム・ダイオードをつくったのも彼であった。やがて、これが戦時中のレーダー開発に使われ、重要な役割を果たすのである。

一方、リトルさんは一九三六年にハーバード大学の大学院で機械工学の学位を取り、ベル研究所に採用された。ベル研究所では真空管の研究に従事。一九四八年、トランジスタの開発グループに参加した。ゲルマニウムについての知識はまったくなかった。二人は単結晶の写真を見ながら、当時を懐かしげに回想した。

リトル　これが最初のクリスタルです。

ティール　そうだ、これが最初のクリスタルだね。

リトル　温度、引き上げ速度など難しいことばかりでした。第一、どんな機械装置をつくればよいのかさえわかりませんでした。なにしろ、ゲルマニウムの単結晶を引き上げるのは私たちが最初でしたから、当然お手本はないわけですね。実験を重ねてカット・アンド・トライを繰り返しながら、装置を最適なものにしていきました。

写真はティールさんたちがつくった単結晶製造装置である。太い石英管の中にグラファイトのルツボが入っている。石英管の周りには、銅パイプのコイルが巻きついている。コイルは高周波発生装置につながっており、コイルに高周波電力を加えると、石英の中のルツボが赤熱し、中のゲルマニウムが溶解して液状になる。

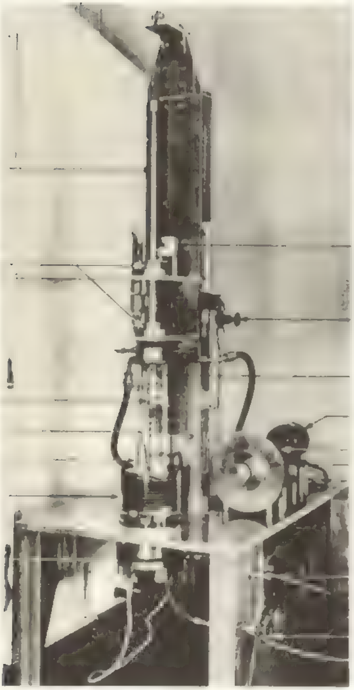
この液面にマッチ棒ほどの種結晶を回転させながら接触させると、種結晶が溶けて液面と同じ状態になる。そこで種結晶を超微速度で上に引き上げる。すると、種結晶の下にツララが成長するように、結晶が一体成形で成長していくのである。石英の炉全体はガスボンベにつながり、炉の中にガスが流れるようになっている。最初の種結晶は大量のゲルマニウムを溶かしてゆっくり冷やしたあと、偶然できている単結晶の部分だけを切り出して用意したという。

――いちばん難しかったことは？

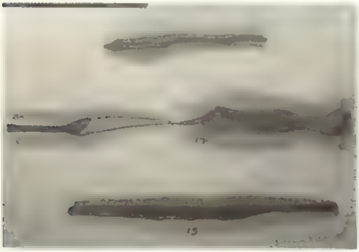
リトル 温度管理はその一つですが、ほかにも中に流すガスの種類や流し方も大変重要でした。高い温度で溶かすわけですから、中に酸素が存在するとゲルマニウムの表面が酸化してしまい、種結晶がつかないのです。引き上げスピードも大変重要でした。また種結晶を回転させながら接触させたあと、これを回転させながらゆっくり引き上げていくのですが、回転の方向とか回転速度も非常に影響の大きな要因でした。多くの事柄が微妙にからむ複雑な工程を一つ一つ実験で確かめながら最適値を探り、より合理的な工程や装置を工夫していきました。

――ガスは何を？

リトル 水素を使いました。もし炉の中に酸素が少しでもあったら、水素と化合して水になるの



ティール、リトルの単結晶製造装置



当初は不細工な形の結晶ばかりだった

で不活性ガスよりもよいと考えたのです。

——種結晶の回転は？

リトル 最初は回転させませんでした。

ティール そうだったね。回転させたかったんだけど、そのような装置をつくるのが大変難しかったんだよね。中にゲルマニウムが溶けるほどの高い温度をつくり、水素ガスを流しながら、しかも種結晶が回転しながらゆっくりと上がっていく装置は大変難しいことでした。

リトル 水素ガスが漏れて危ないことが何度もあったりしてねー。

ティール そうそう、あったあった。爆発寸前てなことが何度もあった。

——大変だったんですね。

ティール ここに写真がありますが、さまざまな形をした結晶を沢山つくりました。

リトル 初めの頃は何百回という試行錯誤をしました。温度が高すぎる、今度は低すぎる。引き上げ速度が速すぎる、遅すぎる。回転が速すぎる、遅すぎる。制御の条件が多くて微妙で、互いにからみ合っていて大変でした。けれども、徐々にうまくいくようになりました。

■ 異端視された単結晶製造

前ページの写真は、ティールさんが持っていた研究資料の一部である。針金のように細長いもの、ひね人参のように不細工な形のもの、サイコロ状の立派な単結晶ができるまで艱難辛苦が続いたのである。しかし、こうした試行錯誤もベル研究所内ではほとんど異端視されていた。特にトランジスタ

の研究全体を取り仕切っていたショックレー博士が、単結晶の製造には反対していたのである。

ティール 単結晶についてはいろいろな意見がありました。単結晶を成長させるということにはなかなか支持が得られませんでした。トランジスタに単結晶など使えば莫大な費用がかかると冶金専門家たちが主張しましたから、会社は時間と金を単結晶などに費やすなんて愚の骨頂と考えていました。

――そうなんですか。

ティール 後に私が『フィジカル・レビュー』に書いたことがあるんですが、それをちょっと読んでみますと、こうです。「トランジスタについての大変大がかりな研究開発が行われているにもかかわらず、ベル研においても他の研究所においても、ゲルマニウムの単結晶製造について、あるいはゲルマニウムの精製についてはだれ一人注意を払っていませんでした。実際一九四八年、四九年の初期、ベル研究所の人たちはまったく違った発想、見方をしていました」

――ショックレーはどう考えていましたか？

ティール ショックレーは単結晶を成長させるなんていうのは必要ないことだと固く信じていました。多結晶の塊の中には、ところどころに偶然できた単結晶が混在しているのですが、ショックレーはそれをより分けて使えばよいと考えていました。しかし、これは完全な単結晶とは言えず、第一そんなことでは実験室ではともかく産業にはなりません。単結晶については、ショックレーの考えを変えさせるには大変時間がかかりました。

リトル 彼は、大きなゲルマニウムのインゴットを溶かせば、そのインゴットの中から自然にク

リスタルが成長してくる、というふうに言っていたんでしょ。

ティール　そう。まあうまくいけば、クリスタルをつくることはできたかもしれないけれど、うまくいかないこともあるし、第一多量につくろうという観点から考えれば、ショックレーのやり方じゃうまくいかない。

——ショックレー自身は単結晶の必要性を認めていなかったんですね？

ティール　彼がある日私に、君のやっている単結晶の製造は、正式な認可を得ないでこっそりとやっていることじゃないか、と非難がましく言ったことがありました。

リトル　ショックレーからは支持されない、会社も支援しない、だれからも支持されない中でゴードンはやり通したんです。

ティール　当時、ベル研にとっては大変重要なプログラムがあってね、僕はその仕事もしていたわけなんだけれども、これはトランジスタとはまったく関係がなかった。だからショックレーは、私が本来やらなければならない仕事を手抜きしているとでも思ったんだろうな。

——にもかかわらず、単結晶に取り組んだのは？

ティール　これは絶対に重要なことだと信じていたんです。もし物質づくりの仕掛け、たとえばトランジスタのようなものが必要ならば、物質を精密にコントロールする必要がある。それならば、やはり単結晶は絶対に必要だと考えたんだね。

リトル　ゴードンの書いた論文が『ジャーナル・オブ・ザ・アプライド・サイエンス』や応用科学の学術誌に載ったときのことだけど、当時の上層部はこの論文は問題を起こすに違いないから君に掲載を辞退させたいと言っていたんだよね。でも、多くの人が君の意見に賛同

するまでに、そう時間がかからなかったね。

ティール そうです。やがてショックレーのようなやり方では、トランジスタはつくる度に違うものができてしまい、同じものを再現することが非常に困難だと気がつくのです。

――なるほど。

ティール やがて、もっと重要なことがわかったんです。私たちがつくった単結晶は、キャリヤ(電気の運び屋)のモービリティが多結晶よりもはるかに高いということです。つまり、単結晶のほうが電子や正孔の移動性が高いということがわかりました。いい単結晶ほど、キャリヤのスピードが速いんです。それからもっと大切なことがわかってきました。キャリヤのライフタイムは単結晶の中でのほうが長いということでした。これは大変重要な発見でして、トランジスタをはじめ半導体デバイスをつくる場合の原則となりました。

――公表したのは?

ティール 最初の実験が一九四八年でしたが、公表したのは一九五〇年でした。『フィジカル・レビュー』です。四ページほどの論文ですが、ここにあります。「G・K・ティール、J・B・リトル(ベル研究所)、〃単結晶ゲルマニウムの製法〃」と書いてあります。その年の三月一八日、テネシーのオークリッジにあるアメリカ物理学会の会合で抄録を発表しました。

――反響は?

ティール 私が発表すると、失笑した人たちも少なくありませんでした。一般的には単結晶なんて必要ないと考えられている時代でしたから。でも、多くの皆さんは大変驚き、同時に何か重要なことが起こっているということはわかったようです。彼らは、私たちがしゃべり

たがらないということのほうが重要なことだと思ったらしいのです。

——どうしてしゃべりたがらなかったんですか?

ティール　そのときまでにはベル研でも、単結晶がトランジスタの製造を決定的に左右する事柄だと考えるようになっていましたので、上層部は詳細を内部機密にしておく決定をしたのです。私の記憶が正しければ、発表会では抄録に書いてあること以外は一切口外するな、と研究部長が指示してきたのです。そんなわけで、私はミーティングに参加している人との質疑応答では、抄録に書いてあること以外のことを話すことができなかったのです。

——それで出席者が不審を抱いた?

ティール　そう。私が抄録以外のことを話さなかったので、かえって何か重要なことを隠していると思われたのです。事実、重要なノウハウは伏せて発表したんですがね。

■単結晶引き上げ技術の復元

ゲルマニウムの単結晶引き上げの技術がどれほど困難で微妙なものか、その製造のプロセスを映像に記録しなければいけないと考えた。再び金属材料研究所に技術復元をお願いした。ゾーン・リファイニング装置の復元をしてもらったとき、高周波発生装置の横に古めかしい単結晶引き上げ装置があることを見ていたからである。昭和三五年製というゲルマニウム全盛時代の装置であった。高周波発生装置と単結晶引き上げ装置が揃えば、あとは三浦さんの好意と腕に頼ればいい。聞いてみると、昔は毎日のようにゲルマニウムの単結晶をつくっていたと言う。「探せば、材料のゲルマニウムもあるは

ずですよ」と三浦さんは乗り気であった。

まず、単結晶引き上げ装置の炉を覆っている石英管をはずす。次にグラファイトのルツボにゲルマニウムの多結晶を砕いて入れ、それを炉心にセットする。炉心の外周には銅パイプのコイルが巻きついている。再び石英管をセットする。背の高い回転軸の下端に種結晶を取り付けたあと、炉全体を密封して外気から遮断する。同時に銅コイルには水を流し、炉の中にアルゴンガスを流す。この状態で高周波発生器のスイッチを入れ、コイルに電力を送り込む。

やがて黒いグラファイトのルツボが赤黒く変わり、赤熱、白熱と変わっていく。この時間が約三〇分。グラファイトが白熱してからさらに三〇分たつと、グラファイトの中のゲルマニウムが液状に溶け、鏡のように輝いてくる。この状態になってから、種結晶を回転させながら、ゆっくりと接触させていく。

「あ、失敗」と三浦さんが叫んだ。液面の温度が高すぎて種が接触面で溶けてしまったのである。今度は少しパワーを下げて再び種結晶を接触させた。すると今度は一瞬のうちに液面の輝きが消え、シャーベット状に変化した。「ああ、駄目だ、今度は温度が低すぎた」と三浦さんはうめいた。

今度は長い間、液面をにらんではパワー調整ノブを回していた。種結晶はどうやら液面に無事接触したようであった。回転する種結晶の下に球状の輝点が現れ、次第に大きくなっていく。それが成長を続ける単結晶であった。ところが、しばらくすると球の輝きが失われ、大きさがみるみる拡大した。「あっ、しまった、温度を下げすぎた」と三浦さん。パワーコントロールは先、先と予測しながら下げたり上げたりするのだが、先を読み違えると炉心温度が下がりすぎたり、上がりすぎたりして結晶づくりは失敗する。石英管の中では、カサブタのような結晶がクルクルと回転していた。

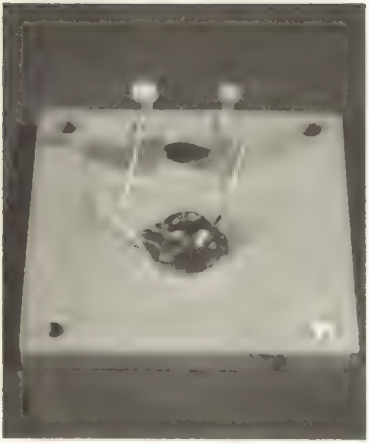
何度も失敗したあと、夕方になって、今度こそは見事な結晶が上がりそうであった。栗のような形をした単結晶が回転軸の下に成長していた。三浦さんはほっと一息入れて機械を離れた。戻ってきた三浦さんが叫んだ。「あ、結晶が切れている」。監視を怠ったすきに電圧がわずかに上がったのだという。研究所が退勤時間になり、多くの部屋が電気を切った。それが電圧上昇の原因であった。許される液面の温度誤差は、ゲルマニウムの融点九四〇度に対してプラス・マイナス一度だというのである。「あの頃は電圧が不安定でしたから、単結晶の引き上げは夜中から明け方にやりました」と三浦さんが回想した。

ショックレー理論の実現

超高純度の単結晶ができるようになって初めて、結晶内部の伝導性を自由に制御できるようになった。ようやく接合トランジスタが現実に生まれる下地ができたのである。接合トランジスタを最初に実現したのが、長い間単結晶づくりに専念してきたゴードン・ティールであった。単結晶引き上げの途中工程を利用する結晶成長型トランジスタであった。

ティール ショックレーは接合トランジスタについての理論を考えたんですが、現実にこれをどう実現するのか、いかにしてつくるのかについては何のアイディアも持っていませんでした。実際にこの接合トランジスタをどうつくるかはだれもわからなかったのです。そこで私がトランジスタをつくるのに、単結晶の成長工程を利用するグロウン・メソッド（結晶成長法）を思いついたわけです。そこでショックレーの助手をしていたスパークスと一緒に、

ベル研究所の広報誌に掲載されていた接合トランジスタ



ベル研究所が製造した初期の接合トランジスタ

グロウン（成長）型トランジスタの開発に取り組んだのです。

写真右は、ベル研究所でつくられた初期の接合トランジスタである。まるで黒いアメ玉のように見える黒い塊が接合トランジスタである。保存台帳には非常に初期の接合トランジスタとしか記録がないので、だれがいつ試作したのか、構造がどうなっているのかは不明であるが、当時の技術段階から推測して、黒いワックスの中にはゲルマニウムの小さな単結晶が入っていると思われる。多分図20のように単結晶が三層になっており、各層に金線がつながっていると考えられる。

写真左は、ティールさんが持っていたベル研究所の広報誌に載っていた接合トランジスタである。豆のような小さな粒から三本の線が出ている。樹脂で固められた中には、やはりN型ゲルマニウムの単結晶の中間にP型層がつくり込まれた構造になっているはずであった。一体、この構造はどういう方法でできたのだろうか。ティールさんはその製法につい

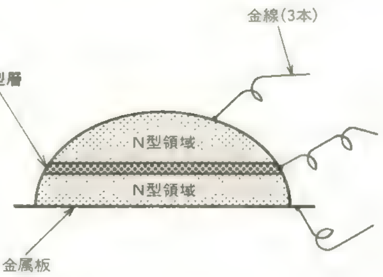


図20　初期の接合トランジスタ

て次のように教えてくれた。

単結晶の引き上げについてはすでに詳しく述べたが、成長型トランジスタは、この結晶成長の途中に伝導物質（不純物）を投入して、結晶内部に必要な層をつくり込もうという方法である。結晶を成長させながらつくるトランジスタだったので成長法、グロウン（成長）メソッド（方法）とか成長型トランジスタと呼ばれた。

まずグラファイトのルツボに超高純度に精製されたゲルマニウム多結晶を粉砕して入れる。このとき、結晶をN型にしておくためにN型の伝導物質（不純物）、たとえば微量のアンチモンを添加する。回転軸に種結晶を取り付けて炉全体を密閉する。炉を加熱してゲルマニウムを溶かすと、伝導物質も一緒に溶けてゲルマニウムはN型になる。完全に液状になったところで、種結晶を回転させながら液面に接触させ引き上げる。種結晶の下にはN型ゲルマニウムの単結晶が成長する。

それが充分成長し円筒状になる頃合を見計らって、P型の伝導物質、たとえばガリウムを微量投入する。すると、これ以降はP型のゲルマニウムが成長することになる。このまま作業を続ければ結晶はP型ゲルマニウムが成長し続け、結晶はPN二層で終わるのだが、トランジスタはNPNの三層構造にしなければいけないので、もう一回、再びN型伝導物質アンチモンを投入するのである。

ところが、P型層は数ミクロンの厚みにしなければトランジスタにならない。これをどうやって実現するか。こうである。最後のN型伝導物質を投入するタイミングで、P型層の厚みを調整しようというのである。タイミングは実際には一五秒とか二〇秒といった短い間隔である。P型伝導物質のガリウムを投入する。一、二、三、四、……ハイ一五秒、N型のアンチモンを投入。ガリウム投入からアンチモン投入までの時間が短いとP型層は薄くなり、長いと厚くなる。かくてNPN三層構造の単結晶が完成する。

アドコック教授が持っていたトランジスタラジオ

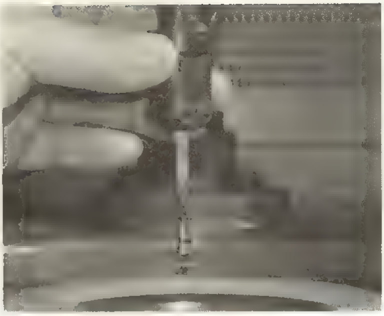
これを輪切りにした一枚の板を取り上げると、それは図20のように真ん中にP型層が走っている。もちろん、結晶板は見た目は灰色の一枚板で色違いの線が走っているわけではないが、薬品処理をすると線が現れ、肉眼でも見えるようになる。今度はこれを短冊切りにすると、マッチ棒のような細い結晶棒が沢山できる。その一本を見ると、真ん中にP型層、両脇にN型がサンドイッチ状に隣接している。これがトランジスタ機能を秘めた結晶である。その両端を電極に取り付け、真ん中のP型層に金線をつなぎ、端子に接続するとトランジスタは完成する。原理的には一回の結晶引き上げで沢山のトランジスタが製造でき、性能も比較的揃うので量産に向いていると

いわれた。しかし、伝導物質の投入タイミングには、芸術的とも言える技術が必要であった。したがって高周波特性が劣悪で、ラジオには使えないと、WEの技術者たちが断じたほどである。

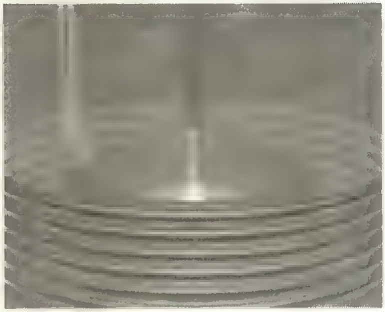
この技術を買ってトランジスタラジオをつくったのが現在のソニー、当時の東京通信工業であった。この悪戦苦闘については後に詳述するが、東京通信工業が何に挑戦し挫折し乗り越えたかを描くには、ぜひとも成長型トランジスタの製造工程を映像に記録しなければならない。ところが、成長型トランジスタはすぐに消えてしまった技術で、製造装置はむろんトランジスタ現物も残っていない。ソニーにはトランジスタラジオは残っているが、そのトランジスタを抜き取り、分解して結晶を取り出したいと申し出たら、広報諸氏がきっと腰を抜かすに違いない。ソニーの歴史を語る上でも日本の半導体史を語る上でも非常に重要なトランジスタなので、最初はソニーに成長型トランジスタを復元製作してもらえるかも知れないと甘く考えていたが、やがて話を持ち出すだけ無駄だろうと感じて途方に暮れた。最悪の場合、一枚写真の短い解説ですますことになろうと覚悟した。

光明はテキサス大学のウィリス・アドコック教授からもたらされた。彼がむき出しの成長型トランジスタを持っていたのである。接合トランジスタの開発に成功したゴードン・ティールは、石油機器会社であるTI社の社長パトリック・ハガティーにスカウトされて同社に転じた。彼が同社の半導体事業を築くのだが、最初につくったのが成長型トランジスタであった。それをパトリック・ハガティがラジオに使わせた。こうして生まれた世界初のトランジスタラジオは、アメリカ商品史上まれに見るヒット商品になった。ソニーが同じようなラジオを製造する一年前のことである。

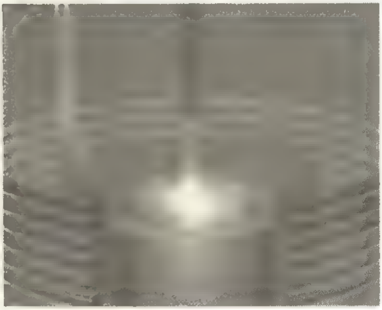
アドコック教授は、そのときゴードン・ティールの下でトランジスタの製造に従事したエンジニアであった。彼がトランジスタラジオ（リージェンシー社製）とトランジスタを持っていた。しかも、そ



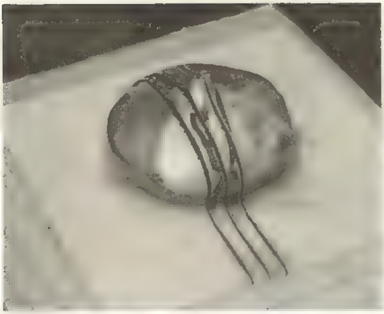
A　回転軸に種結晶を取り付ける



B　N型結晶の成長

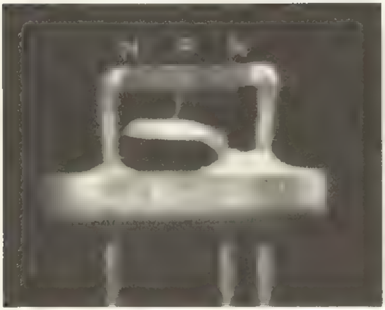


C　P型伝導物質の投入



D　完成した結晶を輪切りにする

E　さらに短冊切りにする



F　成長型トランジスタ完成

れは金属ケースをかぶせる前の完成直前の状態であった。ゲルマニウム結晶が三本足の電極にむき出しのままついていた。この実物をモデルに、成長型トランジスタの製造工程を復元しようと考えた。
それは三度目のお願いであった。再び仙台の金属材料研究所の三浦恒雄さんの協力をあおぐことになった。TI社製の成長型トランジスタを見せて、単結晶引き上げ装置でつくってほしいとお願いした。三浦さんは今度ばかりはしり込みした。「私は、結晶はつくっても、トランジスタはやったことがない」ので、自信がないと言うのである。
「いいえ、本当に動作するトランジスタなどまったく必要ありません。製造工程がわかればいいんです。真似事で結構です」
こうして、無理やりお願いして再現したのが、前ページの写真である。

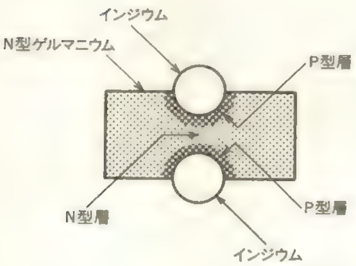
合金型トランジスタの製造工程

ベル研究所で開発されWEで量産された成長型トランジスタとほとんど前後して、ゼネラル・エレクトリック（GE）とRCAから同じような発想の接合型トランジスタが生まれた。それが合金（アロイ）型トランジスタであった。
N型ゲルマニウムのペレットを用意する。これに、図21のように表と裏からP型の伝導物質インジウムの粒ではさんで炉に入れる。高熱にさらされると、インジウムとゲルマニウムが溶け合って合金になる。合金は表と裏の両面から次第にゲルマニウムの内側に食い込んでいく。合金部分が冷えるにつれて、中のインジウムがゲルマニウム内部に析出してくる。これがP型層になる。ゲルマニウムは

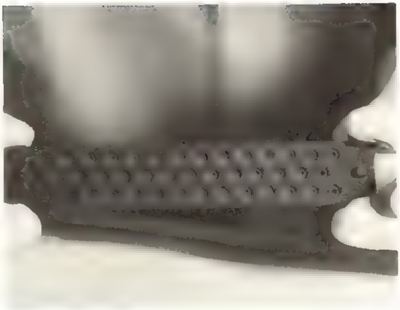
もともとN型であり、その両面からP型層が内側に食い込んでくるので、適当なところで止まれば、真ん中に狭いN型層が残る。かくて、ゲルマニウム結晶はPNPのサンドイッチ構造になる。それぞれの層に金線をつなぐと、これが合金型トランジスタである。

この技術は、やがて改良型のドリフト型トランジスタに発展し、高周波特性も改良されて広範に使われ、しかも長い間製造され続けた。つい五年前までは日本でも細々とだが製造されていたし、アメリカでは今でも製造されている。それだからこそ、番組では製造工程を詳細に記録する必要があったが、構造と工程を丹念に撮影するとなると、アメリカの工場では時間的な制約が大きくて難しい。国内では住友金属鉱山の国富事業所が五年前までつくっていたが、今は日本全国どこを探しても合金型トランジスタを製造しているところはなかった。

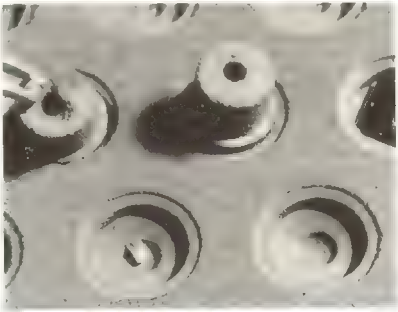
図21　合金型トランジスタの断面図



そんなときであった。別の取材で仙台の半導体研究所に行ったとき、主任研究員の鈴木壮兵衛さんに「テレビ撮影用に合金型のトランジスタをつくってもらえませんかね」と聞いてみた。鈴木さんの話では、探し出せば道具も材料もまだ残っているはずだから、急がなければ可能だというのである。さっそく所長の西澤潤一先生にお願いに上がると、博士はすぐに伊藤主任研究員を呼んで「君が、この担当だ」。伊藤さんは本来の研究を一時中断して合金型のトランジスタに取り組んだ。まず当時の論文を探し出し、



合金型トランジスタをつくるための治具



治具の小さな穴とピンセットでの作業

道具を揃え、材料を集め、撮影の準備ができたのは三週間後であった。

　合金型トランジスタをつくるための治具は倉庫の隅に眠っていた。探し出すのをあきらめかけたほど見つけるのが大変だったそうである。治具は写真のようなしごく小さな道具である。

長さ一二センチ、幅二・二センチ、厚さ四ミリの黒いグラファイト（黒鉛）の板には、直径五ミリの穴が二二個整然と並んでいる。穴の中の底には直径一・五ミリ、深さ〇・二ミリの小さなくぼみが掘られている。各穴にはスッポリはまる小さな筒状のふたがついており、ふたに直径一ミリの穴が通っている。

　まずP型伝導物質インジウムの小粒（直径〇・八ミリ）を治具の穴の底に置く。この上に二・六ミリ角のゲルマニウム小片を置いて円筒状のふたをする。ふたの穴からもう一個のインジウム粒を落としてやると、その断面は下からインジウム、ゲルマニウム、インジウムの三段重ねの状態になる。ピンセットで小さな粒を小さな穴にセットする作業を穴の数だけ繰り返す。目が疲れ神経がすり減る仕事であるが、かつてはこれらはトランジスタガールといわれる女性たちの仕事であった。

完成した合金型トランジスタ

治具の穴が全部埋まったところで、これを静かに高熱炉に入れる。約五八〇度の温度で一五分間加熱すると、ゲルマニウムのペレットの両面にインジウムの合金が溶け込んでいく。治具から出してみると、結晶は紫色に輝く二・六ミリ角の結晶の中央に、両面から銀色の小粒が溶着している。これに金線をつなぎ電極にすると、これが接合トランジスタのもう一つのタイプ、合金型トランジスタであった。（写真上）

二・六ミリ角の中央にある約一ミリの点に、毛髪ほどの金線を熱圧着する。これは顕微鏡つきのボンディング機械で行うのだが、容易な作業ではない。結晶を試料台に置き、金線をペレットの銀色点に触れさせておき、先のとがった加熱ヒーターで押さえつけて圧着するのだが、金線を接着点に持っていくだけで三〇分。そこを狙って加熱ヒーターを命中させるのに三〇分。伊藤研究員は金線圧着だけでゆうに一時間はかかった。

同じ工程がアメリカでは自動化されていた。これについては後述するが、このボンディング作業を数秒ごとに一個の割合で機械が金線接続をするのである。ゲルマニウムのペレットやインジウムの粒をグラファイトの治具にセットする作業も、治具と対になったジュラルミンの真空皿が工夫されていた。ジュラルミンの皿には治具の穴に対応した位置に穴が掘られている。各穴の底には毛穴ほどの穴があいている。各穴はジュラルミン内部ですべてつながり、ゴムパイプで強力な真空ポンプにつながっている。

この皿に、作業員は無造作にインジウムをばらまき、真空引きのコックをひねる。すると各穴に転がり込んだインジウムが吸引されて、逆さにしても落下しない。穴からはみ出た不用なインジウムだけが落下する。これを、このままグラファイトの治具に重ねて吸引を停止すると、皿のインジウムが正確にグラファイトの各穴に落下する。作業は無造作で速いスピードで進行する。熟練した名人芸は必要なく、マニュアル通り正確にやりさえすれば、インジウム粒やゲルマニウムペレットを簡単に所定の場所にセットできた。これが一九五〇年代のアメリカが誇る生産技術であった。

第5章

模倣は独創の始まり

■電気試験所に旋風児あり

このへんで日本に目を向けてみよう。各企業はトランジスタの情報を集めて独自に研究を進めるが、まだ量産をするところまでは行っていない。研究室で各企業のパイオニアたちが実験試作を繰り返している段階である。ところが、企業が集めたトランジスタ情報は絶対に外に流れてくることがなかった。先進企業はあらゆる知識と体験を部外秘にして秘匿した。この傾向を少しでもやわらげ、トランジスタ知識を広く普及させる必要があると考えた通産省工業技術院電気試験所は電子部を新設し、電子技術、とりわけ半導体技術の基礎研究を推進することになった。一九五四年、昭和二九年のことである。当時すでに田無分室から本部勤務になっていた菊池誠さんがその要員の一人に抜擢された。多少回り道になるが、まず電子部設立のエピソードに耳を傾けてみよう。

菊池 一九五四年にね、電気試験所に電子部ができることになりました。これは当時、名物部長で知られた和田弘という人の考えだったんですね。今も元気でいらっしゃいますが、和田さんは電気試験所の中に一大旋風を巻き起こした人なんです。日本の国家のためにはエレクトロニクス、電子技術を発達させなけりゃいかんと、かなり強引に電子部を新設したんですね。当時は内部に賛否両論激しい議論が起きましたが、信念を貫いた。

——日本電子工業の開祖ですね？

菊池 彼の人生観というのがおもしろいのね。「菊池なぁ、まーるいボールがあって、表面がツルツルしていたら、そんなものがいくら速く回ったって、おまえ、回ってるって気がするかい。ボールの周りにこう何かカミソリの刃みたいなものが植えてありゃ、回転するときに

刃が周囲にあるものをみんなこうブッタ切っていくだろう。人生というのはそういうもんでなきゃ、おもしろくねぇな」って言うんですよ、彼は。ハハハハ。円満なだけでは駄目だってわけね。だから彼は敵は多かった。本当に激しい人でした。

――その激しい気性の人がエレクトロニクスにとり憑かれた？

菊池 そう。彼は政府派遣の留学生になってアメリカのマサチューセッツ工科大学（MIT）に学んだんですが、MITでは、籍を置いた教室にじっとしてはいなかった。彼は有名なヒッペル教授の教室に入ったんですが、教授に「私は日本国家から日本の将来のことを考えるために派遣されているんで、一研究のために来ているのではない。だからあなたの言うことを必ずしも聞かないかもしれない」と言って教授をあ然とさせた。

――MITの有名教授も形なしですね。

菊池 ヒッペル教授が「君にはこれこれの実験を担当してもらおうかな」って言ったらね、「断る。おれはあんたの言うこと聞きに来たんじゃない、おれは日本政府から派遣されて来てるんだ」ってんで、和田さんはヒッペルの言うことを全部無視して、エレクトロニクスだ、トランジスタだ、コンピューターだと世の中を見て歩いた。そして一つの結論を得た。日本の将来は半導体とコンピューターを手中にすることにかかっている。半導体とコンピューターこそが日本の課題だと。エレクトロニクス産業を築くことこそ戦後日本の生きる道だと。日本に電子立国の道を歩ませようと胸に秘めて帰国した。

――MITで実験も研究もせずに？

菊池 そう。ヒッペル教授が引退するとき、私もセレモニーに招待されたんですが、ひとしきり

和田さんのことが話題になりましてね。ヒッペル教授は一生懸命和田さんを褒めようとするんですが、褒めようがない。何しろ研究者としては業績がないんですから。そこでヒッペルが褒めた言葉が「彼は非常にカレジャスな男であった」ですって、フフフ。

──何の男ですって?

菊池 カレジャスな男。非常に勇気のある男。つまり、おれの言うことを全部無視したという意味ね。

──へえー、明治の元勲みたいな人ですね。

菊池 そう。特に偉いと思うのは、だれもがすぐに何かの研究をやりたがったあの時代、彼はひたすら将来の日本にとって何が大事かということだけを見ようとした。アメリカで自分がやらなければいけないことは、これを考える以外に何もない。あとは何にもしなくていいんだ。あとは日本へ帰って、まず何が何でも企画部長になる。そこで電子部を新設し、その部長におさまり、電子をやらせる。こう心に決めて帰国した。

──日本の将来にとって電子化というのが、絶対的な要件だと考えた?

菊池 彼は毎週水曜日に私を部屋に呼んで一緒に昼食をしたんですが、そんなときに彼が口ぐせのように言っていたことが今でも鮮明に記憶に残っているんです。「エレクトロニクスがありゃ何でもできる。今にエレクトロニクスが世界を支配する時代が必ずやって来る」

──戦後間もなくのことですよね?

菊池 まだ一九五〇年代ですよ。そして世界は彼の予感した通りになった。

──日本のマービン・ケリーですね、和田さんは。

菊池　ところが、あまりに先見的であったために、はっきり言って電気試験所ではずいぶん足蹴にされましてね。ついに彼を所長にするだけの見識のある人がいなかったわけです。でも、電子技術振興法は彼が走り回ってつくったものですし、当時の通産省の振興局長は、意思決定をする前は必ず和田さんを呼んで相談した。そんな局長を、和田さんが「何年たってもちっとも勉強してない」とか何とか言って怒るんですよ。ハハハハ。

――アハハハ。不勉強だと、取材に行っても玄関ばらいになると聞きまして、私も耳学問が充分できてから、いちばん最後にお邪魔しようと、アハハハ。

菊池　でも、彼は傑物ですよ。あの時代に彼のような人物がいなかったら、日本の半導体の歴史もまた少し違っていたかもしれませんね。

菊池誠さんは「日本のマービン・ケリー」だと手放しで傾倒するのだが、後に登場するあるパイオニアは「国産蔑視にこりかたまった舶来至上主義者」とこきおろすのである。さて、その和田電子部長に呼ばれた菊池さんは、その時代では最も最先端技術であった接合トランジスタの試作を命じられる。

■「全工程を完全自作せよ！」

菊池　ある日和田部長のところに呼ばれまして、「お前は物理屋だからよくわからんだろうが」という前置きがあって「エレクトロニクスをやってほしいんだが、まずトランジスタをだれの手も借りないでつくってみろ」。

若き日の菊池誠氏（左）と傳田精一氏（右）

――自作せいと？

菊池　全部つくれと。つまり、酸化ゲルマニウムの粉末を多結晶ゲルマニウムの塊にして、純度を上げるゾーン・リファイニングもやって、単結晶づくりをやって、ペレットをつくってトランジスタに仕上げる。当時はもう合金型のトランジスタっていうのが出ていましたので、全工程をすべて自力でやってみろと厳命されたんです。

――完全自作で？

菊池　和田部長の考えは、自分でつくる経験をしなければ、きちんとしたことを言えるわけはないし、何がキーポイントかがわからない。だから、今知られている技術をすべて自力でやってみることが大切なのだ。まず、それを最低基盤としてやれと。

こうして菊池さんは、傳田精一さん（現在コニカ常務取締役、六〇歳）と一緒に、ゲルマニウムの精錬から始めることになった。ところが、材料、道具や装置、周辺技術など、何一つ満足なものが手に入らない。

菊池　ゲルマニウムの精錬をゾーン・リファイニングでやったんですが、ゲルマニウムを入れて動かすボートはグラファイト、つまり黒鉛を使わなければいけない。それも超高純度のグラファイトをね。例によって僕たちは何も知らないから、国産の黒鉛を買ったんですよ。

――国産は駄目？

菊池　まったく駄目でした。不純物だらけでね。それでグラファイトの会社に電話をかけて、こういう実験をやるんで不純物が入ってないものって注文したら、そんなものできるわけありませんって言うわけですよね。

――相手にされず？

菊池　それでね、ご存知だと思いますけど、グラファイトってのは灰で固めるんですよ。ですから、灰のないのをくれませんかって。灰が不純物になるから。

――そしたら？

菊池　そしたらね、自分で真空の中でお焼きになれば、灰が飛びますって言うわけ。じゃあってんで、さっそく焼いてみたらグラファイトがヘチマみたいにスカスカ。

――できの悪い大根みたいにスカスカの孔だらけ？

菊池　ですから、中にゲルマニウムを入れて溶かしたら、孔から漏れちゃうんですよ。

――アハハハハ。

菊池　これではまったく使えない。

――どうなさいました？

菊池　しようがないからね、もうその頃になると日本の企業は向こうからライセンス取ってノウハウを買っていましたから、ちょっと教えてくれませんかって言ったら、ある会社の人が「アメリカから買ってます」と。

――それでアメリカから輸入したんですね？

菊池 そう。非常に高い純度のグラファイトでしてね、当時アメリカがこれをどこに使ったかといいますとね、原子炉の中の中性子のスピードをコントロールするために使ったんですね。グラファイトの太くて長い棒を炉心に突っ込んで中性子を制御したんですね。ですから、品質は極上で超高純度の黒鉛でした。

――極上もので勝負ですから、今度は問題なしですね？

菊池 ところが……。

――えっ、また、ところがですか？

菊池 今度は良質すぎる。ほれ、シューマイでも上等なシューマイは粉がなくて肉ばっかりでしょ。グラファイトもこのくらい上等になりますと、グラファイトの粉だけなんですよ。

――ははーん、粉を互いにつなぎとめる「つなぎ」がない。二八そばじゃなくて、全部そば粉で打ったそばみたいなものですね。

菊池 そうそう。それですよ。つなぎがまったくないグラファイトですから、加工しようってえと、これは悲惨でした。グラファイトの粉が飛び散って部屋中が真っ黒。

――なるほど。そばのつなぎがないとブツブツ切れますもんね。

菊池 このグラファイトの棒の真ん中をえぐってボート状に加工するんですが、これが大変なんです。

――機械で削ればいいんでしょう？

菊池 ところが、加工をしてくれるところがないんですよ。切削機の刃の目が詰まっちゃうんですね、あまりに微粒子で。つまり、日本ではそんな純度の高いグラファイトを扱ったこと

のある会社がなかったんですよ。それで、自分で簡単な道具をつくって、苦労してそーっと削ったんです。グラファイトは軟らかいですから、時間をかけて手でね。

■炉内にピンクのネオンが灯る

仙台の金属材料研究所の三浦さんがやってくれたゾーン・リファイニングの実演でも水素を流したが、石英の炉に、水素ガスを流すのがゲルマニウムの酸化を防ぐ上では重要な事柄の一つであった。ところが——。

菊池 今度はガス。水素還元で酸化ゲルマニウムを粗製多結晶ゲルマニウムにしたり、ゾーン・リファイニングや単結晶引き上げにはガスを使うんですね。

——水素とか不活性ガス？

菊池 そう。これがまた純度の高いガスがないんですよ。余談ですけど、一度なんか、水素ガスを注文したら、工事現場に転がっているような水素のボンベを持ってきてくれてね。

——アセチレン溶接の、アハハハ。

菊池 ええ。あの口金のところに泥がくっついているんですよ。こんなもので半導体を扱えないわけですよ。ところが考えてみると、当時半導体に使えるような超高純度のガスなんて日本にあるわけがない。

——どうされたんですか？

菊池 自分で純化する装置をつくろうとした。ところが今度は、そこに使う材料がないんですね。

当時の材料で装置をつくったら、材料の純度が低くて不純物だらけだから、装置から不純物が飛び出し、ガスを純化するどころか、わざわざ汚染するようなものだったんですね。

——万事休す？

菊池 そしたらアメリカにね、今でも名前覚えてますけどね、ディッキンソンという名前の装置ね。直径二〇センチ、長さ一メートル五〇センチくらいの赤い筒ですよ。この中にガスをスーッと通すだけで、中に入っている酸素が取れちゃうという魔法のような装置があったんですね。これを使うとガスをたちどころに純化できたんです。

ルツボの中のゲルマニウムを高周波電力で溶かすのだが、すでに見てきたように、高周波発生器は電子レンジのお化けのような、いわば小さな放送局のようなものである。たとえば、蛍光灯を手に持って装置に近づくと、あるところで装置に触れなくても点灯したり、手に電線を持っているだけで、電線に高圧電気が誘発し、感電したり放電したりすることもあるのである。

菊池 ゾーン・リファイニングをやっているとき、グラファイトのボートをゆっくり動かすのに長いモリブデン線を引っぱった。ところが、モリブデンは金属ですから、高周波炉の中を通るとき高電圧の電気が発生するんですね。ですから、モリブデン線に手が触れるとビリビリときて、火花が飛ぶんですよ。これは危ないっていうんで、何をやったかっていうと、途中一か所三味線の糸で絶縁して引っぱった。すると火花は飛ばないけど、三味線の糸じゃ伸び縮みがあって結晶のできが均一にならない。もう、あちら立てればこちら立たずで、悪戦苦闘の連続でした。ひどいときは幾日も徹夜して単結晶をつくるんです。貧すりゃ鈍するって言うけど、急いでやろうとすると次々失敗をしてね。

――まだあるんですか、失敗が？

菊池 そりゃ山ほど。単結晶を引き上げるときのことです。炉の中は真空にするんですが、装置が不完全で気密性が悪くて、なかなか中の真空度が上がらない。ところが、和田さんが「まだできないのか」と怒るものですから、しゃくにさわって不活性ガスを入れてやろうとした。真空にするのも不活性ガスを入れるのも同じことだと思いましてね。それで途中からアルゴンガスを入れたんです。

――そしたら？

菊池 電気切っておいてやればいいのに、電気入れたままアルゴンガスを入れたもんだから、パーッと放電してね、考えてみれば当たり前なんです。ネオンサインと同じなんだから。

――高周波にアルゴンガスだからピンク色の大放電？

菊池 ネオンサインですよ、まったく。

――ピンクのネオンサインでピッカピッカですね？

菊池 そんなこと頭にないわけ、急いでいるから。それでヒーターに使っていたモリブデン線のコイルを全部切っちゃってねえ。モリブデン線を巻き直すのは一日や二日じゃできないわけですよ。もう泣きたくなってね。それでも放棄するわけにはいかないから。切れたコイルを抱えて、夏の暑い日に汗だくになって五反田から歩いてね。平身低頭してメーカーに巻き直してくださいって頼んだ。そんな苦労をしながら、単結晶を引き上げたんですよ。

炉心温度を一定に保つ工夫

すでに私たちは単結晶引き上げがどれほど微妙で難しい技術か見聞してきた。ゴードン・ティールやJ・B・リトルの話、仙台の金属材料研究所での経験。特に炉心温度を一定に保つためにパワーの強弱を調節することが至難の業であった。そこで菊池さんたちは、自動温度調節のできる単結晶引き上げ装置をアメリカから買おうとした。すると、アメリカの装置メーカーは国立研究所には売れないと言う。技術については閉鎖的な企業が相手なら、売った装置の重要ノウハウが売った相手から外に出る恐れはないが、研究内容を公開することが前提になっている国立研究所ではノウハウ流出を防ぐ保証がないと言うのである。

菊池 単結晶引き上げは大変でした。グラファイトの器の中に原材料の多結晶ゲルマニウムを入れて溶かすんです。ゲルマニウムの融点というのは九四〇度、摂氏でね。多結晶のゲルマニウムがグラファイトの中で溶けたとき、これにマッチの軸みたいな単結晶の種を接触させて回転させながら、ゆっくり引き上げる。すると種結晶に触れているところから、種結晶と同じ結晶軸を持った結晶が一体となってできてくる。これが単結晶の引き上げなんですね。

——なるほど。

菊池 ところが、加熱する炉の温度が不安定ですと、単結晶が均一で良質なものにならないんですね。温度が低すぎると種結晶を接触させたとたん、結晶がいっぺんに固まり始めちゃうし、温度が高すぎると種結晶をつけたとたんに、種のほうがクニャッと溶けてしまう。

——微妙なんですね?

菊池 泣くような思いを何度もしてるからよく覚えてるんです。

——コツは?

菊池 加熱炉の温度をゲルマニウムの融点プラス一〇何度くらいの温度にピシッと決めておいて、その上で種結晶を溶けた多結晶に静かに接触させるのがコツなんです。

——なるほど。

菊池 仮に多結晶に種結晶がうまく接触しても、今度は引き上げの速度が一分間一ミリくらいのスピードでないといけない。

——引き上げ速度と温度調整の微妙なコントロールが必要なんですね?

菊池 このときに加熱炉の温度が低すぎると結晶はたちまち太くふくらみ、温度が上がりすぎると結晶はシュ—ッと細くなっちゃう。このまま数秒もたったら、結晶は細くなりすぎて切れてしまう。ですから、微妙な温度管理をきちっと正確にしなければいけないんです。

——温度管理が不均一だと、結晶がヒョウタン状になる?

菊池 そう。設定温度でプラス・マイナス〇・二度くらいのコントロールができなきゃいけない。つまり、温度が下がりかけたらパワーを上げ、温度が上がりかけたらパワーを下げる。これを自動的にやってくれる装置が必要なんですね。そんな装置など当時の日本にはないですよ。

——今ならマイコンで制御するとか?

菊池 現代なら何でもある。しかし、当時は何もない。企業の技術者たちはアメリカの大メーカ

―とライセンス契約をして、一連の機械を大金出して買っていましたから何の苦労もなかったでしょうが、国立研究所はそれができないんです。というのも、アメリカのメーカーがノウハウの流出を恐れて装置を売ってくれなかった。それなら、僕たちは意地でも自力でやってみせると知恵を絞ったんです。

――どんな知恵ですか？

菊池 炉の中に熱電対を入れて、それに電流を通すと炉の温度によって電流が変化する。そこで、熱電対の電流変化で炉の中の温度を外のメーターで読むんですが、肝心のメーターが細かい温度変化までは表せない。それで僕たちは原始的なことを考えた。メーターの針に小さな鏡をつけて光を当てて天井に反射させるんです。すると、針がちょっと動くと反射光は天井で大きく動くわけ。

――反射光が映すところが遠ければ遠いほど、輝点が大きく動く。

菊池 そこで私が結晶を引き上げる。もう一人が天井の輝点を凝視しながら必死で温度調節のノブを回すわけ。天井の輝点がチョチョチョッと動き出すと「オオッ、温度が上がりましたよ」って言いながら、温度調節のノブをちょっと下げるほうに動かすわけね。

――涙ぐましい創意工夫ですね？

菊池 ところが、これにも泣きどころがあった。

――アキレス腱？

菊池 周囲の振動が問題になる。振動が鏡に伝わると輝点も大きく振動してしまい、せっかくの工夫が威力を発揮できない。それで振動の少ない夜中にやろうっていうわけ。仲間の傳田

君と二人でいつも夜中にやりました。永田町の、あの首相官邸の下の本部で。徹夜してやっと単結晶を引き上げるとね、これが国会議事堂の屋根そっくりなんですね。

――議事堂の屋根？

菊池 このくらいの太さの単結晶がずっとできるわけですが、結晶の軸によって癖がありましてね。〈111〉という結晶方向ですと、上から見ると正三角錐になり、〈100〉という結晶方向ですと、四角錐の形になる。それで明け方になってやっと単結晶ができて、早朝の町に出た。そして、ひょいと見上げると、国会議事堂の屋根が見えて、「あっ、〈100〉の結晶だ」と。まったくそっくりな格好をしているんです。単結晶の頭が議事堂の屋根に。

――アハハハ。

菊池 今でも忘れない。今でも国会議事堂のそばを通ると、「ああ、あのとき苦労して単結晶〈100〉を引き上げたな」と。

このオチは講談にすぎる。一緒にやった傳田精一さんの話によると「できるにはできたんですが、それはみっともないひね人参でしてねえ」というような結晶であった。国会議事堂の屋根のような、方形の立派な単結晶ではなかったらしいのである。

菊池 つまり、何かやろうとしても何一つ満足なものがなかった。ですから、すべてを自分で工夫してクリアしなければ先に進まない。

――周辺技術というか産業というか、その水準が低劣だった？

菊池 低劣というよりなかったと言ったほうが当たっている。僕たちはね、こうやりたいと思ってパッと真似しようとする。すると材料がない。それで、向こうからまた買わなきゃなら

ない。

――ないないづくしで？

菊池 つまりね、産業の技術というのは、一つ二つだけじゃ駄目で、周辺が固まってなけりゃできるもんじゃないんだ、ということを僕はイヤというほど思い知らされた。

――最初に貴重な体験をしたわけですね？

菊池 ですから、外国人はね、日本は真似の技術だとか、トランジスタを真似したって言うけどね、トランジスタの技術を真似できる国ってすごい国だと思わなきゃいけないんですよ。真似って簡単に言うけれど、あの技術全部を総合的に真似するってえのは、大変なことなんです。そのことを若い僕らは知らず知らずに学んでしまった。

――それこそが和田部長の狙いだった？

菊池 そう思います。全部を自作する過程でさまざまな困難に直面したため、トランジスタのプロセスの本質的な問題点を理解できたと思います。

■汚染物質との果てしない戦い

ないないづくしの中から艱難辛苦をしてやっと手に入れた超高純度の単結晶を使って、今度はこれをトランジスタにつくり上げなければならない。当時はすでに合金型トランジスタが登場していた。それを試作したのが傳田精一さんであった。信州大学の工学部を出て電気試験所に就職した傳田さんは、電子管（真空管）を選ぶか半導体を選ぶか選択を迫られた。一緒に入所した友人の多くが電子管を

希望した。希望者が多くてジャンケンで決めることになった。彼はジャンケンに負けて半導体の研究員に回された。当時は、半導体という言葉がまだ日常的に使われなかった。彼に送られてくる手紙の中には、宛先が電気試験所電子部「半導体課」ではなく「反動隊課」と書いたものもあったくらいである。

傳田さんは現在カメラ会社コニカの常務であるが、私たちはこの取材に入る前に、半導体産業の全貌について傳田さんから一回三時間ずつ三回の手ほどきを受けたのである。半導体技術の詳細を原理からわかりやすく教えていただいたのが、私たちの仕事始めであった。

さて、合金型トランジスタについては、仙台の半導体研究所でテレビ撮影用に試作してもらったことは前述した。グラファイトの治具にゲルマニウムのペレットを入れ、インジウムを入れ、炉で合金にする。その工程はこの目で見ることができ、頭の中では理解できた。しかし、それは工程を映像で伝えるための試作であって、現実に動作する必要はなかった。事実、その試作トランジスタは結局、充分な動作をしなかったのである。

実は合金型トランジスタも成長型に劣らず製造歩留まりが低く、しかも製造後の劣化が激しかったのである。

傳田 合金工程を終えて各層に金線をつなぐとトランジスタは完成するんですが、これがまったく動作しないのです。どこかが間違っているに違いないと思って、最初からつくり直す。ガスを改良してみたり、温度を変えてみたりしながら一〇何回かやった。やっと一〇何回目くらいの試作品の中にたった一個か二個動くものがあった。

――あとのトランジスタは駄目だったんですか？

傳田 実は合金工程がうまくできていても、トランジスタにはならないんです。表面にいろいろな汚染物質が皮になってくっついていましてね。

——何の皮ですか、それは。

傳田 インジウムの酸化物が大部分なんですが、ガスの中に入っていたものだとか、炉の壁から出たものだとか。とにかく六〇〇度というのは相当な高温ですから、炉の中ではいろんなことが起こる。それらが層をなして表面につくんですね。特にP層とN層の接合部に付着した汚染物質がP層とN層をショートさせちゃうんですね。合金工程が終わったら、汚染物質をきれいに取り去らなければならないんですが、このことがわかるまでにずいぶん悪戦苦闘しましてね。

——トランジスタはできていても、もう一工程処理してやらないと動作しないわけですか？

傳田 そうです。実はこんな話が延々と続くんです。やっと汚染物質が取れても、今度はそれを防護する技術がないので、翌日測ると駄目になっているとかね。

——へえ。

傳田 PN接合部が汚いと駄目だというのは、ダイオードの研究でだんだんわかってきていまして、汚れを取る技術がいろいろ考えられました。電解研磨とか薬品で削るとか、いろいろな情報が次々と入ってきましたから、トランジスタでも接合部の汚染物質を取り除くことが非常に大事だということがわかるようになりました。

——どういうふうにして除去したんですか？

傳田 電池のマイナスをトランジスタにつないで電気分解の溶液に浸ける。溶液にプラスの電極

棒を入れておくと、メッキとは逆の作用でトランジスタの表面が溶けてクリーニングされるというわけです。(図22)

——逆メッキですね。

傳田 逆メッキ。これを電解エッチングとか電解研磨と呼ぶんです。この処理を施してようやくトランジスタとして働くんですね。

——さて、これでトランジスタが完成した。

傳田 ところが、今度は水が大問題になりました。電解研磨の処理をすると表面には薬品がいっぱいついていますから、洗わなきゃなりませんね。ところが、水道の水で洗うとパーなんですね。水道の水には塩素とかいろんなものが入っていますから、電気的には不純物がいっぱいなんですね。水道水なんかで洗うと、せっかくできたばかりのトランジスタを大量の汚染物質でわざわざ汚すことになるんですね。

——水が汚染源ですか？

傳田 ええ。ですから、純水を手に入れなければならなかったんです。不純物を含まないきれいな水ですね。

——純水なんか蒸留すれば簡単にできるんじゃな

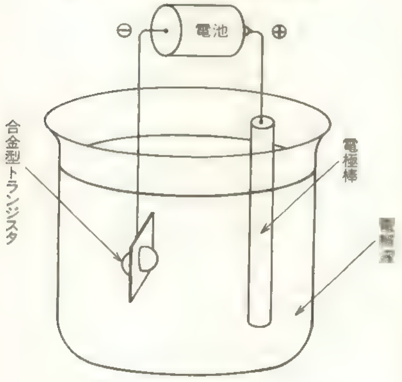


図22　トランジスタの電解研磨

いですか？

傳田 いや、蒸留水は必ずしも電気的に純水じゃないんですね。ここでは衛生上の純粋度なんか何の意味もないんでして、あくまで電気的性質をいうんですね。余計な伝導物質が入っているかいないかということですね。蒸留水はいっぺん蒸気になったものを冷やしたという意味では相当精製はされているんですけれども、蒸気と一緒に伝導物質（不純物）もどんどん入ってしまうんです。ですから、化学的な純水では駄目なんで、電気的な純水にしないといけないということなんです。水の中から悪さを及ぼす伝導物質（不純物）を一切取り除くような技術が必要なわけです。

——蒸留水で駄目ならどうするんですか？

傳田 水道水をイオン交換樹脂に通すんです。装置を通しますと、伝導物質が取り除かれて純水になって出てくるんです。ですから、水を処理する会社が半導体産業とともに発達しまして、現代では半導体産業の重要な分野ですね。

——さあ、やっとトランジスタは動いた。

傳田 ああよかった、今夜は家で祝杯だと帰宅する。翌朝来て測りますと、もう全部死んでいるんです。もとのもくあみになっちゃって、どうやっても駄目なんです。

——昨日はよかったのに？

傳田 ええ、昨日はよかったのに。もうどうしようもない、そういうことがまた何回か続いたわけです。おかしいな、こんなにきれいにしたのにどうして駄目なんだろうなと頭をかかえてしまう。やがてわかったことは、空気中の湿気が原因だった。空気中の水分がＰＮ接合

部に触れて、わずかですが水の膜が付着するんですね。電流が全部ここを流れてP層とN層を短絡させてしまうんですね。

——どうなさったんですか？

傳田 空気から遮断して中を真空にすることを考えました。ハーメティック・シール、つまり気密容器と言いまして、ガラス容器の中にトランジスタを密封して、これを金属ケースに入れるというようなことを考えました。

——それじゃ、まるで真空管ですね。

傳田 まったくね。しかも場合によって乾燥剤を入れたり。こうすると一応劣化しないんですが、べらぼうに高くなっちゃうんです。トランジスタの原価が一〇〇円だとすると、ケースが一〇〇〇円ぐらいしちゃうんです。お話にならない。ただアメリカの軍用トランジスタは、金属シール型をずいぶんつくりましたけどね。

——戦争に勝つには値段はどうでもいいですからね。

傳田 私たちはそうはいかない。やがて樹脂封じ型が研究されて実用になるんですが、その前に私たちはグリースで固める方法を考えました。ねばねばしたシリコングリースをタップリつけて固めてしまおうというわけです。ところが、これの純度が大問題。最初は真空装置に使うグリースを利用したんですが、やっぱり不純物が多くて使いものにならなかった。次にアメリカのダウ・コーニングなんていう会社が純度の高いシリコングリースを開発していましたので、それを使うようにしました。ただ、これはグニャグニャで、手にベトッとくっつくわけで、結局これをケースに入れてトランジスタにかぶせました。

――空気から遮断するだけで悪戦苦闘ですね。

傳田 これはほんの一部で、こんなことが限りなく続いたのが半導体技術の本当の姿なんですね。

――そうやってうかがってみますと、半導体技術者がその後遭遇する基本的な事柄を全部体験なさったように思えるのですが？

傳田 その通りです。ガスの問題、水の問題、材料の問題、温度の問題など。ただシリコン時代に入りますと写真蝕刻の技術が加わるんですが、これを除けば半導体技術の基本的な体験を全部してしまったわけですね。

――ここをおろそかにしたら駄目だということを最初に全部体験しちゃった？

傳田 ものの細かさ、純度の大事さ、そういった事柄を最初に身につけた。これはその後の研究にとって非常に大切なことだったと思いますね。

――人から技術を学ぶためには、まず自分でやってみなきゃ駄目だというところがあるんでしょうかね？

傳田 そうです。たとえば東南アジア系の会社が技術をどんどん売ってくれ、もっとくれと言ってきますね。それで日本のメーカーは装置を売る。すると、機械を操作できればある程度はできちゃうんです。だけど、それだけでは決して独自技術は進歩しませんね。今あるものはすごくうまくできますけれども、そこから独自技術が生まれていくためには、やっぱり相当いろんな技術の蓄積が必要だということになるんではないでしょうかね。日本がアメリカに追いつけた最大の要因の一つは、失敗をものともせずすべてを自分の力でやってみたということではないでしょうか。

――模倣するにしても、自分でやってみないことには、模倣すべきノウハウが何かさえわからない？

傳田　まったくその通りだと思います。

「潜水艦」と呼ばれる研究室

東北大学工学部通信研究所の建物が完成したのは昭和三〇年のことであった。大学院特別研究生のとき、恩師渡辺寧教授に半導体の研究を命じられた西澤潤一博士も、このときまでに助教授になっており西澤研究室を持つようになっていた。最初は黄鉄鉱から細々と始めた半導体の研究も、この頃にゲルマニウムをスキップして一気にシリコンへ移ろうとしていた。人も装置も増えて研究室は手狭になった。新築の建物にぜひとも広いスペースがほしかった。しかし、駆け出し助教授にはもらえる面積は限られていた。

西澤　やっと通信研究所の建物ができて、そこにわれわれも入れていただいたんですが、たった二部屋しかもらえないんですよ。ところが結晶をつくらなきゃいかん、結晶ができたらデバイスもつくんなきゃいけないということになってきますと、これはもう絶対にスペースが足りない。さあ、どうするかと考えてみましてね。人間を部屋から出して廊下に机を並べるかと思ったんですが、ちょっとこれは反抗的と見られるなあと思ったりして、それで結局機械のほうを廊下に出した。

――廊下に機械を？

西澤　並べたわけですね、通行妨害もいいところなんで、それで部屋の中には中二階をつくりまして、部屋を上と下に分けて使ったんです。

――まるで、団地の二段ベッドですね。

西澤　そう、そう、それですね。下のほうは人間の背丈カスカスなもんですから頭ぶつかんないんですけど、上に上がると頭ぶつけるわけですよ。そうするとおもしろいことに、背の小さいやつがぶつけるんですね。背の大きいのはぶつかんないんですね。背の大きいやつはいつもぶつかるぞと用心して。

――警戒しているから。

西澤　背の小さいやつは警戒心がないから頭ぶつけては倒れる。

――アハハハ、ゴーン、バターンと。

西澤　頭かかえてしばらくしゃがみこんじゃう、というような状態だったんですね。

――まるで潜水艦ですね。

西澤　だから、うちの研究室は俗称が「潜水艦」ということになってたんです。

――それが昭和の……。

西澤　三〇年ですね、その新築ができたのが三〇年でしたから。

西澤潤一博士はなかなかの映像好きである。西澤研究室の節目節目の出来事や日常生活を八ミリで記録していた。映像は私たちが言う「壁塗り」で、絶えずカメラがぐらぐらと無目標に動くから使いにくい。しかも博士自身が撮影者だったらしく、博士が写っていない。だが、そうした大量の八ミリフィルムの中に、西澤研究室「潜水艦」の様子が記録されていた。中二階の天井に研究員が頭をぶつ

中２階のある西澤研究室

けて昏倒するカットが数カット。偶然にしてはできすぎで、カット数も多すぎる。これは西澤カメラマンのヤラセ撮影に違いない。「○○君、はいっ、もう一度、もっと派手にぶっ倒れるところを。はい、スタート」。西澤博士も結構お好きな様子であった。

ゲルマニウムが手に入らなかった西澤特別研究生は、誤った論文にだまされて黄鉄鉱から始めることになったが、それは不幸中の幸いであったという。もしゲルマニウムが手に入ったとしても、それを溶かす装置がなかった。貧乏研究室には、ゲルマニウムの融点九四〇度が出せるような高熱炉が買えなかったのである。道具のない研究室にとっては、簡単に加工のできる黄鉄鉱はうってつけであった。

他の企業や研究所がゲルマニウムと取り組んでいる間も西澤研究室は黄鉄鉱で呻吟し、やがて一足飛びにシリコン時代に入っていく。黄鉄鉱を材料にダイオードの研究から出発して、ついに行きついたＰＩＮダイオード（絶縁層入りの整流素子）のアイディアを完全な半導体材料シリコンで実現しようと考えた。

しかし、シリコンの純度を上げるにも、シリコンの単結晶をつくるにも、シリコンに伝導物質を混入するにも、シリコンを溶かす高熱炉が必要であった。それでも、なけなしの予算を投じて高

熱炉は買った。だが、それを動かす高周波電力を発生させる装置が買えない。日本で最初に点接触型トランジスタをつくったバケツ偏析の岩瀬新午さんも、電気試験所の菊池誠さんたちも、高周波電力の発生装置があった。潤沢な予算を持つ企業の研究室にもそれはあった。しかし、西澤研究室はこの高周波発生装置を手に入れるために悪戦苦闘するのである。

四年がかりで高周波発振器を自作

西澤 研究費がなくて高周波発振器が買えない。だから自作しかなかったのですが、最初につくったのが原始的なやつ、真空管式じゃなくて水銀アーク式発振器というやつでした。これがひどいしろもので、電圧が下がるとたちまち止まってしまうんです。ところが、当時は電力事情が劣悪でしたから、電圧が安定しないで、すぐ下がってしまう。

――するとどうなるんですか?

西澤 途中で電圧が下がって発振器が止まると、モリブデンの赤熱が止まってシリコンの溶融が止まってしまう。

――やり直しですね。

西澤 ところが、モリブデンは一回赤熱させると、ボロボロになってしまうんですよ。ですから、渡辺先生に「高いモリブデンを一体いつまで買わせるつもりか、少しは頭を使え」なんてどなられて。

――へえ。

西澤 問題だったのは電気だけじゃなくて、水道の水。高周波発振器には銅パイプで巻いたコイルを使っていたのですが、パイプの中には水を流しているんですね。コイルから発生する熱を水で冷やしてやらないと、コイルが溶けてしまうからですね。ところが、当時は水道の水圧も安定しなかった。ですから、水圧が下がってパイプの中に水が通らなくなるもんだから、中の水が蒸気になってパーッと吹き出してくる。

――爆発的に？

西澤 そうですね。こんなことを繰り返しながらやっていたわけですから。

――当時はそれほど電力不足で、水不足だったんですか？

西澤 そうですよ。家庭の電灯も暗くなったり明るくなったりして安定しなかった。

――そういう時代で。

西澤 はい。だからもう一息で全部溶け終わるのにと思う頃、電気がスーッと暗くなって、はい一巻の終わり。溶け損ないになる。

――そうすると、完全にできるのはよほど運がいいときで？

西澤 そうですね。しかしもったいないですから、それでも八〇パーセントくらい一応溶けていましたから選んで使いましたが、あとで出てくるような非常に良質の結晶にしようなんてことは、とてもできなかったですね。

――それで？

西澤 当時特定研究というのがあったもんですから、それに研究費

西澤潤一氏

を申請したら一七〇万円下りたんで、結晶を溶かす電気炉を買った。ところが、高周波炉でしたから、大電力の高周波を発生させる装置が必要なんで、それこそが心臓部なんですが、これまでは買えないわけですよ。それで、高周波発生装置は毎年少しずつ部品を買い集めては手づくりで組み立てなければいけませんでした。

――高周波装置をですか、大電力の？

西澤 はい、そうです。それは簡単な放送局みたいなものですね。それを手づくりしたわけです。まあこれも若気の至りなんです。金がないもんですから、使えるのが一年間で三〇万円ほど。その三〇万円で、町のジャンク屋さんから発振器をつくるための部品を買い集めたんですね。あとの手間は自分の労力で、ただですから。それが簡単にはいきませんで、感電しては中二階から転げ落ちたり。今になって思うと、あれはまさに死んじゃってもおかしくなかったなんてね。

――感電というのは？

西澤 電源をつくっているわけでしょ、うっかりして電線に触れて感電するわけですよ。

――電気の通っている裸線に触れて？

西澤 ええ。それで失神して、床に倒れて、中二階から転げ落ちて目が覚めたということがあります。

――アハハハハ。

西澤 それは一例で、それに近いことばかりやっていたんです。それで何回か年越しまして、やっと高周波発生装置を完成させて、高周波炉でシリコンを溶かすことができるようになっ

たのがちょうど昭和三三年でした。二九年に製作を開始してから四年目でした。

――感激したでしょうね？

西澤　シリコンがやっと溶けたという感激、あの日の感激は今でも忘れません。

――黄鉄鉱というエセ半導体から本物の半導体戦線に参入できるようになった日ですもんね。

今、その装置は？

西澤　通信研究所に残ってますよ。

東北大学工学部通信研究所の一階東側、廊下をはさんで両側二室計四室が西澤研究室になっていた。その片側の二室が中二階構造になっていた。その一室は倉庫になっていて、古ぼけた装置が所狭しと

中2階を占拠した高周波発生装置

ひしめいていた。ニクロム線を使った酸化炉、拡散炉、合金炉など数々の装置をつくっては壊し、壊してはつくっていた。そんな残骸がすべて保存されている。炉心の高熱をいかにして確保しようかと苦労した跡が見える。

もう一室は、それこそ潜水艦以上に無数の装置が入り組んでいた。機械と機械の間を通るとき、体を横にしないと通れないのである。その真ん中に人間の背丈ほどもある変圧器が鎮座している。変電所にある大きなトランスであった。二つの巨大端子から直径三センチもの電線三本が中二階に延びている。それをたどると、四畳半の部屋いっぱいはあると思われる自作の高周波電力発生装置が横たわっていた。数えきれないほどの銅パイプのコイル、古めかしい放送局用の発振管、黒くさびた銅の板、大電流を通す抵抗器は家庭用の電気コンロをつなぎ合わせて代用している。大型コンデンサーは石油缶に油を詰めて密封した自作品である。どの部分を見ても、涙ぐましい資金難との格闘の跡が残されていた。

やがて、この発振器を使って西澤研究室は黄鉄鉱から一足飛びにシリコン時代へと入っていく。そしてPINダイオードやSITトランジスタ、SITサイリスタ、完全結晶の理論など世界的な業績を上げていくのである。

第6章

日米の蜜月時代

トランジスタ技術の一般公開

ベル研究所では研究の成果として取得された特許を、AT&Tが発明者から一ドルで買い上げると労働協約で決められていた。したがって、トランジスタに関する基本特許の使用権はAT&Tが所有していた。ウエスタン・エレクトリック（WE）社は、それに基づいて製造技術を開発し、製造特許を取得する役目を担っていた。重要な特許をひとり占めすることが独占禁止法に抵触し、特許の無料公開を迫られるのではないかと考えたAT&Tは、先手を打って有料公開を決意する。事実、四年後の一九五六年、AT&Tは独占禁止法の同意審決によってトランジスタに関するすべての特許権を放棄させられるが、それを予見して取った措置であった。

トランジスタ技術の有料公開は一九五二年四月に行われた。トランジスタ産業に参入したい企業に対して、一件二万五〇〇〇ドルの参加料を取って公開セミナーを開いたのである。ある試算によれば、ベル研究所がトランジスタに投じた開発費は一〇〇万ドルほどだったという。独禁法の同意審決が決定される一九五六年までには、ベル研究所は有料セミナーを実施することで一〇〇万ドルの開発費はゆうに回収していた。

生産ライセンスを買った企業はレイセオン社、テキサス・インスツルメンツ（TI）社など二六社、参加人員およそ二〇〇人。彼らがトランジスタ技術を企業に持ち帰って、それぞれが産業化を模索するのである。いわば、トランジスタ産業の伝道師であった。集積回路の発明者ジャック・キルビーさん（六六歳）も若い頃これに参加していた。

キルビー　一九五二年、私が働いていたセントラル・ラボという会社がベル・トランジスタの特

許使用権を取得しまして、私が二週間のセミナーに派遣されました。最初ベル研でトランジスタの理論と実際を習いました。もちろんショックレー博士をはじめ、そうそうたる博士たちが私たちの先生でした。彼らは結晶の純化、単結晶の引き上げ、トランジスタ製造までを詳細に実演して見せてくれました。その後、今度はアレンタウンにあるAT&Tの製造工場WEで三日間過ごし、トランジスタ生産の実際を勉強しました。

――ベル研究所の印象はいかがでした？

キルビー 強烈な印象が残る場所でした。世界中の才能が集まり、ひしめいているような感じがしました。非常に能力のある人々が大勢いて、非常に優れた設備が整っていました。極めて印象深いものでした。

――バーディーン、ショックレー、ブラッテンとは何か話しましたか？

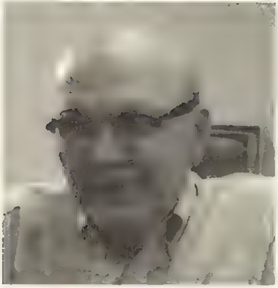
キルビー いいえ、思い出せません。彼らはいつも私たちのそばにいて教えてくれましたので、私たちも話しかけたことがあるはずなんですが、思い出せないんです。

――そうですか。

キルビー そのとき使ったテキストが後に三冊シリーズの本として出版されました。そのうちの一冊がここの本棚にあるものです。見てください、目次にテーマと講師の名前が並んでいますね。

――ショックレー、バーディーン、ブラッテン……。

キルビー ゴードン・ティールも。



キルビー氏

——何を学んだんですか？

キルビー　点接触型トランジスタからグロウン（成長）型トランジスタまで講義を受けましたが、当時すでに点接触型トランジスタは魅力のないテーマになっていました。点接触型もグロウン型も数か月たたないうちにアロイ（合金）型にとって代わられましたが、そのときはグロウン型に魅力を感じました。点接触型よりつくりやすいし、特性も信頼性もはるかに優れていたのです。

——アレンタウンにあるWEでは何を見せられたんですか？

キルビー　そこでは月産二〇〇〜三〇〇個の点接触型トランジスタを製造していまして、その工程を見せられたんですが、それはかなり未成熟な感じがしました。

——受講者は全部で何人くらいだったんですか？

キルビー　大変多かったと思います。おそらく二〇〇人はいたでしょう。三〇社近い企業から四人くらいずつ、それにベル研やWEの従業員も大勢いましたから。

——そのセミナーには日本人はいたんでしょうか。

キルビー　思い出そうとしてるんですが……。ああ、思い出しました。全部で二八社が参加して、アメリカ以外の企業が四社。それは全部ヨーロッパの企業だったと思います。

——セミナーは一回限りでしたか、それとも何回か繰り返されたんでしょうか。

キルビー　私が派遣された講習会は一九五二年半ばまでにライセンスを取得した企業が対象でした。その後ライセンスを取った人々のために、もしかしたら追加のセミナーがあったのかもしれませんが、私にはわかりません。一九五六年には二回目のセミナーがありましたが、

そのときの中心テーマは拡散型トランジスタについての理論と実際でした。

――刺激的な二週間だったのでしょうね。

キルビー はい、すばらしい経験でした。聴講した人々のほとんどにとって、このときこそがトランジスタ時代の始まりだったんだと思います。

■海賊版が横行した虎の巻

特許の使用権二万五〇〇〇ドル。それを買ってくれた企業に対して、ベル電話会社は二週間のセミナーを開いてトランジスタ・テクノロジーの理論と実際を手ほどきしたのである。その講師陣は、当時考えられるベストメンバーだったという。このとき使われたテキストがやがて出版された。それが『トランジスタ・テクノロジー』全三巻である。

第一巻/全六六一ページ、イラスト枚数四一〇枚、執筆関係者三五名、編集責任者H・B・ブリッジャー、ジャック・スカッフ、J・N・シャイブ。前書きはベル研究所デバイス部長のジャック・モートンが書いた。発行年月一九五七年一二月。その内容は以下の通りである。

第一章　ゲルマニウム材料

☆酸化ゲルマニウムの水素還元（金属ゲルマニウムの製法）

☆ゲルマニウムの精錬（ゾーン・リファイニング法）

☆廃棄ゲルマニウムの再生利用法

第二章　単結晶の必要性とその製法

第三章　ゲルマニウムトランジスタの原理と製法
第四章　トランジスタの諸特性
第五章　トランジスタの信頼性
第二巻／全七〇一ページ、編集責任者はF・J・ビオンディ、執筆関係者四五名。
第一章　半導体素材（主にシリコン材料の進歩と将来性）
第二章　トランジスタの設計
第三巻／全四一六ページ、編集責任者はF・J・ビオンディ、執筆関係者三四名。
第一章　接合構造をつくるまで
☆不純物制御の原理と方法
☆不純物拡散による接合構造のつくり方
第二章　トランジスタの組み立て
第三章　測定と特性の判定法

執筆陣はウィリアム・ショックレー、ジョン・バーディーン、ウォルター・ブラッテン、ゴードン・ティール、W・G・プファン、カルビン・フラー、ジャック・スカッフ、カール・フロッシュ、ジェームス・アーリー、A・E・アンダーソンら当時のベル研究所を支えた超一流の専門家たちであった。

特許を買ってくれた企業に対して開いた集団講習会が二週間のセミナーであったが、その後も特許を買う企業がどんどん出てくる。たとえばソニーの前身東京通信工業もその一つだが、トランジスタの基本特許や成長型トランジスタの製法特許を買った企業にはすべて、この『トランジスタ・テクノ

ロジー』全三巻一組が配付された。その代わりWE社はノウハウ契約には応じなかった。特許は売っても、ノウハウは売らなかったのである。

なお、AT&TとWE社とベル研究所、三者の関係は第2章でも触れているが、WE社とベル研究所はアメリカ電信電話会社AT&Tの子会社的存在で、ベル研究所で開発した新技術をWE社がAT&Tのために量産するのである。

日本の企業も次々とWE社と製造特許契約を結び『トランジスタ・テクノロジー』をもらうが、当然それらは企業では門外不出の虎の巻であった。一セット二万五〇〇〇ドルもする貴重な文献だったからである。ところが、やがて装丁も活字も内容もまったく同じ海賊版が現れる。上中下全三巻。出版元不明。一セットの価格が三〇〇〇円。これが半導体研究者の間にひそかに広まっていった。

現在、日立超LSIエンジニアリングの代表取締役である大野稔さん(六四歳)は、昭和三二年、大学院を出て、日立製作所中央研究所に研究員として就職した。後に日本で最初にMOS型トランジスタを開発して有名になるが、若い頃のテキストが、海賊版『トランジスタ・テクノロジー』であった。

大野　これは当時トランジスタをつくるためのバイブルと言われた本でして、『トランジスタ・テクノロジー』、ベル研で編集したものです。三冊に分かれていまして全三巻。一巻、二巻、三巻とね。これ実は海賊版なんです。今じゃ考えられませんが、当時は海賊出版が大目に見られていまして、こんなのを見ながら必死で勉強したんです。これに書いてあることを逐一実験しては、こういうノートをつくったもんです。一刻も早く追いつきたいとね。

大野さんが使った『トランジスタ・テクノロジー』を手に取ってみたが、その中巻は手あかで汚れ

ボロボロになっていた。

先に登場した傳田精一さんも『トランジスタ・テクノロジー』を手から離さなかった一人である。

傳田　これ『トランジスタ・テクノロジー』といいまして、当時の半導体屋がバイブルとして肌身離さず読んでた本なんです。

――何か海賊版まであったそうですね。

傳田　あんまりそんな話はしないほうがいいとは思っていますが、ほとんど海賊版でしたね。そりゃ数冊はアメリカからだれか買ってきましたけど、みんなもう一生懸命複写して、当時はコピーをしようと思っても今のような便利なコピー機械がなかったですから、写真を撮ったりして大変だったんですが、そのうち海賊版業者が出てきまして、研究者に安く売ってくれたわけです。ですから、九〇何パーセント海賊版だと思いますね。

――それで皆さん一冊ずつ持つことができたというわけですか？

傳田　そうです。本来の値段ではとても買えなかったと思いますね、当時の給料では。

日本企業、一斉にアメリカ上陸

一九五二年、昭和二七年、AT&Tがトランジスタの特許を有料公開するに及んで、日本の技術者たちが続々とアメリカに渡った。昭和二七年に開かれた有料セミナーには日本の企業は一社も参加していなかったが、翌二八年になると各社が一斉に技術者をアメリカに派遣したのである。

当時、丸紅飯田の駐在員としてニューヨークに着任したての木村市太郎さん（六五歳）の初仕事は、

日本からやって来る半導体技術者の面倒を見ることだったという。半導体という言葉すら知らなかった木村さんが、この出来事をきっかけに深く半導体事業にかかわるようになる。現在は丸紅ハイテック取締役である。

木村　僕は昭和二八年、繊維機械の輸入の仕事をするためにニューヨーク店に転勤になりました。その年の暮れ、東芝の人が半導体の調査に行くからアテンドしてくれという電報が入りましてね。半導体なんて聞いたことも見たこともなかったもんで、あっちこっち聞き歩きました。僕も行ったばっかりでろくろく英語が話せなかったんですが、東芝の人のお供をしましてベル研究所に行ったんです。これが私の半導体事始めでした。それ以来、日本から続々人が来ましてね。それはすさまじい殺到ぶりでした。滞在三年間のうちにいろいろな方のお供をしました。

――総勢では?

木村　三〇〇人くらいじゃないかと思いますがね。もっといたかもしれませんね。

――三年間に三〇〇人?

木村　三〇〇人くらいになったと思いますね。

――お客様が行きたがったベスト五といいますと?

木村　一にベル研究所。二番目がRCAとWE社。三番目がゼネラル・エレクトリック(GE)。当時カラーテレビがちょうど出始めた頃でございまして、テレビ関連でRCAの工場を何か所も回られた方がおられました。あとは四がなくて、五が今ではつぶれてなくなったようなアメリカの半導体メーカーということになりますね。

当時は渡航自体が一定の条件を備えていないと海外旅行は許可されなかったし、許可されても外貨の持ち出しが厳しく制限された。現在のように輸出入のバランスが輸出に傾き、外貨の黒字をいかにして減らすかが重要な課題になっている時代からは想像もできないほど、外貨の使用が厳しく制限されていたのである。そして、為替レートも一ドルを買うのに三六〇円も払わなければならなかった。貴重なドルを投じて派遣された技術者たちは、だれもが金の続くかぎり滞在して最大の収穫を得たいと身を削ったのである。

木村　当時は外貨の持ち出しが五〇〇ドルと限られていましたから、その金が続く間は滞在されるという方が多いわけですね。ある方は一〇日くらいでなくなっちゃうし、ある方はすごく安いところに泊まって、五〇〇ドルの範囲で見られるだけ見ようというお考えでした。

——安いところというと？

木村　週決めで三〇ドルくらい。

——一日四ドルちょっと。五〇〇ドル限度だと一五週間？

木村　飲まず食わずでね。まあ、食べなきゃいけませんから、一〇週間でも無理ですね。そんなホテルで二か月も頑張っちゃうというつわものもいましたがね。それは考えられる最低の暮らしでした。

当時は日米間を飛ぶ航空機も航空会社も少なく、便数は限られていた。したがって、同じ航空機で数社の技術者がやって来ることもまれではなかった。それを一手に引き受けて世話をしたのが木村さんである。現在と異なり、総合商社といえども当時はニューヨーク支店の従業員数がわずか七〜八人という時代であった。

木村　当時は商社も財閥解体で大きな店がありませんでしたから、駐在員も五人とか七人とか、今は三〇〇人、五〇〇人という会社もざらですが、当時は社員は一桁ですから、お客様のアテンドが入るとてんてこ舞いになりました。

――それでテレックスか電報で、「これで行くからよろしく」と。

木村　はいはい。まず宿を手配して次に空港に迎えに出るんですが、もちろん今みたいにジェット機ではありませんので、天候悪化でフライト・キャンセルとか到着延期がしょっちゅうなんですね。しかも現在はケネディ空港で近いんですが、当時は別の遠い空港でしたからバスで迎えに行きますでしょ。しかも同じ飛行機で別々のお客様が五人もお見えになると、われわれはもう本当に夜も昼もなしのお供をするようなことでしたねえ。

――五人というのは？

木村　同じ便で一ぺんに五人も七人も違う会社のお客様が到着することがしばしばでした。

――それは半導体屋さんだけで？

木村　はいはい。ですから、なんていうのでしょうか、呉越同舟で。

――呉越同舟というと、NECと東芝とか？

木村　はい。ライバル社同士のお客様、日本では競争しているお客様を何組もご一緒にお連れすることがよくありました。

――なるほど。

木村　そのうちに口コミで、直接取引のないところからも連絡があったり、他の商社から「うちのお客様」をお願いしますというようなことで頼まれるんですね。

——東京ではライバル同士でも海外では身内の付き合いですか？

木村 現地では融通し合いました。

——現地では電機が得意な商社、繊維の得意な業者と、こうなるわけですね。

木村 ええ、そういうこともございました。

——木村さんは？

木村 繊維機械とは縁が遠くなりまして、しまいには半導体専門になってしまいました。

当時、日立製作所はRCAと包括特許契約を結んでいた。RCAが開発する技術についてはすべて、半導体はむろん、真空管や、当時は先端商品であったテレビなどすべての技術について特許とノウハウを売ってくれるという契約であったが、莫大な料金を払わなければならない。やがて姿を消す運命にあるRCAも、当時は世界有数の技術を誇る大会社であった。このRCAとの間で包括特許契約を結んだ日立製作所は、さらに完璧を期するために技術者をニューヨークに常駐させて技術の吸収を図った。その駐在員が宮城精吉さん（当時中央研究所トランジスタ部長）であった。丸紅飯田の木村さんが頼りにしたのが宮城さんであったという。

木村 宮城さんは日立から駐在員としてRCAに滞在しておられました。それで私は日立さんとは競争関係にある会社の方をRCAにお連れするときも、宮城さんに手配をお願いしましたし、晩御飯も一緒に食べていただいたりしまして、多くの日本人がお世話になりました。宮城さんは絵がお上手なんです。工場の中で見てきたことをホテルに帰ってから描かれるんですね。詳細に覚えておられて、絵で完全に再現できるという特技をお持ちでした。

——必殺目視術ですね。

木村　穏やかな方でして、われわれとしては非常に申し訳ない話でしたが、便利に使わせていただきました。ライバル社の方をお連れするのに、宮城さんにお電話をして明日何時に行きたいんだけれど担当はだれがいるか調べて下さいとか、勝手なことを言いましてね。

――宮城さんはRCAに駐在なさってたんですね。

木村　そうです。RCAに駐在されてたんですが、ニューヨークに住んでおられて、ベル研究所にも非常にお知り合いが多かったものですから、ベル研究所の手配まで宮城さんに電話してもらったこともしばしばでした。

――要するに日本から来た人は皆だれかが面倒を見るという？

木村　ええ。当時は同胞相助け合うという考え方が徹底していました。

■アメリカは日本を温かく迎えた

現代では、アメリカ半導体企業は例外なく外部からの来訪者に対しては警戒的である。かつて日本人技術者を温かく迎えたWE社も、現在は厳格な出入りチェックが行われている。玄関では持ち物が厳密に検査され、カメラと録音機は持ち込みが禁止される。その上で会ってくれる当人の迎えがなければ、一歩も玄関から中には入れない。中に入れても関係者以外は生産ラインには絶対に立ち入れない。世界で初めて点接触型トランジスタの生産を開始した場所が、現在は工場を貫く廊下になっているが、その廊下の撮影すら最初は拒絶されたのである。

この傾向は他の企業でも同じである。日本人に対しては冷淡で敵意に満ちている。ナショナル・セ

ミコンダクターでは公道から工場の写真を撮影しようとしただけで、サイレンを鳴らした車が飛んできた。シリコンバレーの中の広大な地域にはアップル・コンピューター社の建物群が密集しているが、それらを結ぶ道は公道である。道の脇には林檎マークの看板が連なっているが、その風景を撮影していたら、どこからともなく三人のガードマンが駆けつけてきて執ような尋問を繰り返した。それはまるで産業スパイに対する扱いであった。

木村 当時はアメリカ側も、取引も契約もないのに飛行場にまで出迎えに来てくれたり、昼御飯をごちそうしてくれたり。写真はいけないよと言いながら、工場の中を個人ベースで案内してくれたり、ノートを取るのも写真撮影も駄目だと口では言いながら、実際はメモを取らせてくれたり、それからものによってはサンプルをくれたり、帰りに飛行場まで送ってくれたりしましてね。今の関係とはだいぶ違いますね。今は工場に入ることすら契約がなければ不可能ですから。

——日本人も熱心で。

木村 日本人はなけなしの外貨を使って渡米するわけですから非常に勉強もし、一生懸命働きましたけれども、アメリカ側も応援してやろうという気分が非常に強うございましたね。

——それにアメリカ側は自慢したいというところもあったんでは?

木村 いや、それは多少はあったんでしょうが、日本を応援してやろうという気分のほうが強かったと思いますね。私たちとは取引もない、お客様のほうとも取引がない。またこれから先も取引が起きる可能性はあまりない。にもかかわらず、電話一本で工場を見せてくれたり、案内してくれたりしたことがずいぶんありました。そういう点を考えますと、当時の

アメリカは敗戦国の日本を心から応援してやろうという気分のほうが強かったのだと思いますね。

ところで、こうした日本人技術者を迎えたほうのアメリカ人技術者はどう考えていたのだろうか。ベル研究所と並んで日本人が必ず訪れたのがWE社であった。ジェームス・アーリー博士は当時ベル研究所の研究員であった。生産技術や生産に向くトランジスタ技術の開発をするのが彼の仕事であったが、彼のところにも日本人技術者がひんぱんに訪れていた。

アーリー　日本からの訪問者はフォーマルなスーツ、白いワイシャツにネクタイと、きちんとした服装をしていました。常にノートとカメラは離しませんでした。ただベル研は一般的にカメラの持ち込みを許可していませんでしたので、日本人は写真を撮りたい場合は必ず許可を取ってからしていました。

――ノートのほうは?

アーリー　そりゃ、とても念入りにノートを取りました。それに加えて、特筆すべきは丹念に絵を描いていたことです。

――ヨーロッパ人の訪問者と比べて何か違いはありましたか?

アーリー　一九五〇年代から六〇年代にかけて、日本人の訪問者は情報を集めることに一生懸命で細かいことも絶対に見逃しませんでした。特に際立っていたことは周到な下準備をして来ていたことでした。何を見て帰るべきか、何を聞いて帰るべきか、学ぶべきポイントを整然と沢山用意してきました。それに比べていちばんひどい訪問者がアメリカ人でした。勝手気ままにやって来て、ほとんどの時間を自分たちがやっていることの自慢吹聴に終始

しました。それと正反対に、あらゆることを謙虚に徹底的に学び、吸収して帰ろうというのが日本人でした。

——技術者としての資質の点では？

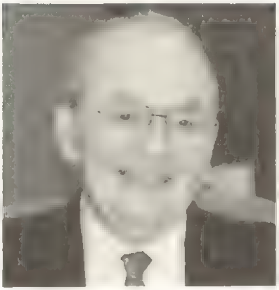
アーリー　訪問者の中では明らかに日本人がいちばん系統的で一生懸命働き、実験を繰り返すことがいちばんできそうな人たちでした。

——実験を繰り返す？

アーリー　研究開発の世界では、同じ事柄を、同じ方法で、同じ結果を何度も得るまで地道に実験を繰り返すということがとても重要なことなのです。それができて初めて次に何を変えてやるべきかを考えることができるからです。

その粘り強さが日本人技術者にはありました。

アーリー氏



アンダーソン氏

アンディ・アンダーソンさんは当時WE社の技師長であった。製造ライン全体の技術的責任を持つ、いわば工場現場のトップの一人であった。

アンダーソン　トランジスタ技術が公開されるに及んで、ほとんど毎日トランジスタ技術を学ぶ人たちが私たちのところに殺到するようになりました。通常、彼らは二日間をマレーヒルのベル研で過ごし、二日間をここアレンタウンのWEで過ごし、再びマレーヒルに戻って一日過ごすというのがコースでした。

――日本人の技術者も来ましたか?

アンダーソン　日本人は最初は来ませんでした。彼らはだれも最初のシンポジウムには参加しなかったのです。ところが、四年後の一九五六年一月に開催された二回目のセミナーはシリコンの拡散型トランジスタについてでしたが、そのときから日本人が来るようになりました。一九五七年六月に、日本電気の長船博士と武田博士がおいでになったのを覚えています。

――お二人が最初でしたか?

アンダーソン　彼らは自作したグロウン(成長)型トランジスタを持ってきて誇らしげに見せてくれました。それで私は「ああ、これは駄目です。時代遅れですね、これからはグロウン型よりアロイ(合金)型のほうが中心になるでしょう」と言って、アロイ型の理論と実際を教えてあげました。なぜならグロウン型トランジスタは理論的には優れたものであっても、実際に生産するとなると歩留まりが低く、したがってコストが非常に高くつき実用的ではなかったのです。これに比べてアロイ型はつくりやすく、実際多くの企業がアロイ型の生産に成功し、後にシリコンの拡散型トランジスタが登場してもアロイ型をやめようとしなかったくらいですから。

――長船さんの反応は?

アンダーソン　博士は本当の紳士でした。私の手厳しい評価を聞くと「ああそうですか、それはよいことを教わりました」と感謝に堪えないように言いました。非常に真摯で好感の持てる人でしたので、私は彼にこっそりと重要な会議のことを教えてあげたのです。

――その会議というのは？

アンダーソン　コロラド州のボールダーで空軍が開いた大変重要な会議でした。長船博士はそのことを知らなかったので、私が手配して彼が招待されるように取り計らってやりました。私もそこに行きましたが、彼はそこで多くのことを学んだと思います。その会議で彼とはより親密になりました。以来、彼は私のよき友人の一人になり、その後も彼はしばしば会いに来てくれました。

――なるほど。

アンダーソン　特に日本電気は一時期、一九五七年以前のことですが、WEの傘下の会社だったことがありまして、私たちとは深い関係がありました。そんなこともあって、長船さんには親近感があったのかも知れません。

――さて、一九五六年のシリコンの拡散型トランジスタのセミナー以降は？

アンダーソン　ほとんどすべての日本の企業から訪問者が来るようになりました。みんな学ぶのに熱心で、知的で、頭の回転が速く、一緒にいて楽しい人たちでした。

――言葉は下手でしたでしょうから、応対が大変じゃありませんでしたか？

アンダーソン　私たちは心から日本の復興を願っていました。日本が一刻も早く復興し、再び繁栄の時代を迎えるように手助けしようと一生懸命努力しました。私たちの努力が実り、日本が立派な産業国に飛躍したことを今は大変うれしく思っているのです。

長船廣衛さんが苦心してつくったグロウン（成長）型トランジスタであったが、アンダーソンさんは時代遅れと評した。それをムッとするどころか感謝して教えを乞う長船さんを真摯な人柄と見たアン

ダーソンさんは、本当は教えてはならない秘密会議を教え、あまつさえ長船さんが参加できるように手続きを取ってあげたのである。この会議に参加できた長船さんは、そこでショックレー研究所から参加していた若き日のロバート・ノイスと知り合う。

ロバート・ノイスはやがて西海岸にフェアチャイルド社を興し、シリコンバレーの基礎を築いたばかりでなく、集積回路やマイクロプロセッサーなど数々の革新的技術の誕生に深くかかわった人物である。アメリカ半導体産業の父と呼ばれたが、一九九〇年五月に心臓発作で他界。大統領をはじめ多くの人々が、彼の早すぎる死を惜しんだ。

特にフェアチャイルド社が開発したプレーナー・トランジスタは劣化が少なく生産歩留まりの高いトランジスタとして世界を席巻したが、その特許の使用権を日本電気が独占できたのも、ノイスと長船さんの間に深い親交があったからである。そうした二人が最初に出会ったのも、アンダーソンさんが労をとってくれた秘密会議が縁であった。

非公開の秘密会議を傍聴

今度は実際にアメリカに行った人たちの話を聞いてみよう。まず、長船さん。彼の写真集の中には若いアンダーソンさんの姿があった。それればかりではない、点接触型トランジスタの発明者の一人ウォルター・ブラッテン博上の写真もある。

長船　これがアンリ・アンダーソンといってWEの半導体工場の技師長でしてね、彼が会議への出席をアレンジしてくれたんです。これがジャック・エバートでこれがブラッテン博士。

――あの、ノーベル賞の？

長船　そう。一九五五年、昭和三〇年のことですが、実はベル研にブラッテンを訪ねたんです。ところが、博士はおりませんでね、聞いてみるとコロラド大学に行っている。今コロラド大学では空軍主催の秘密会議をしているんだが、そこにはアメリカ中の半導体関係者が全部集まっていると言うんですね。それでね、もし希望があるならアレンジしてやるとアンダーソンが言うものですから、それでアレンジしてもらってコロラドに一人で行ったんです。そのときの写真が何枚かありますがね。これです。

――といっても、写っているのはハゲ頭だけですね。

長船　ハイ、これがブラッテンの頭です。

――わざわざ頭を撮ったんですか？

ブラッテン氏の頭(長船氏撮影)

長船　ええ、ノーベル賞をもらった頭だと思いまして、大変感動しまして。

――えっ、冗談でなく本気で？

長船　もちろん本気ですよ。こんなノーベル賞を取った世界的な学者と一緒に車に乗れるなんて夢じゃないかと思って、記念のためにノーベル賞を生んだ頭を撮影したんです。

――だって、写っているのは運転席から見える道路の風景と頭半分のハゲた部分だけですよ。

長船　だから、それを一生懸命撮影したんです。ほれ、同じ写真が

三枚も。一枚ずつ絞りを変えて撮ったんです。

——じゃあ、やっぱり本気だったんだ。

長船 いや冗談、冗談。

——？

長船 ただ、私たちがどれくらいショックレーやバーディーンやブラッテンにあこがれ、尊敬していたか。その一人と車で一緒にパーティーに連れて行ってもらえるなんて夢にも思わなかった。それは本当です。

そこにはアメリカのほとんどすべての半導体関係者が集まっていた。空軍の求める新技術の方向と方法について関係者が寄り集まって論議が重ねられていた。会合は非公開の秘密会議であったにもかかわらず、人々は異国の技術者を参加させ、あまつさえ席が後ろすぎないかと最前列の席をあけ、ノートを許してくれたのである。

長船 空軍主催のセミコンダクタ・デバイセズ・リサーチ・コンファレンスという非公開の秘密会議でしてね。写真も撮ってはいけない、ノートはもちろんメモも取ってはいけないという会議でした。でも、私はメモを取りましたけどね、エヘヘヘ。

——まったく長船さんにかかると規則無用ですね。

長船 だって言葉がよくわかんないんだから、まずメモを取ってあとから考えるしかないんですから。そして私は気が小さいですから、いちばん後ろで小さくなって聞いていたら、アンダーソンがやって来て「お前わかるか」って聞くんですね。英語が下手だから聞き取れないと言ったら、それではってんで、最前列の席のだれかをどかして私を座らせてくれたん

です。

——親切だったんですね、アメリカ人の皆さんは？

長船　ええ、それは親切でした。それで会議の合間に大学の本屋で安い土産物を物色していたら、そこにロバート・ノイスがやって来て声をかけてくれたんです。「自分はボブ・ノイスっていうんだけれど、これから仲よくしようじゃないか」ってね。で、私が彼に名刺を渡して、それがきっかけでずいぶん長い付き合いになりました。

——ボブ・ノイス様々ですね。

長船　ノイス様々というより、アメリカ全体が様々でした。

技術提携しないと量産できない

戦後間もなくの企業経営は、低い生産性にもかかわらず多くの人員をかかえ、借金で賃金をまかなうという状態が続いた。政府から復興資金を借りては給与に当てたのである。米ソ間の冷戦が深刻になり大陸や朝鮮半島が風雲急を告げるようになると、アメリカは日本産業の建て直しが急務と考えるようになる。デトロイト銀行の頭取ジョセフ・ドッジがアメリカ政府から派遣されて日本経済の建て直しに着手した。彼が取った方策は徹底した緊縮財政の実施であった。野放図な復興金融は廃止され、産業界は不況のどん底にあえいだ。企業は人員整理を余儀なくされ、失業者が激増し、労使は激しく対立した。

そんな昭和二五年、朝鮮戦争が勃発し、日本に膨大な特需が発生した。鉄鋼、車両、通信、食糧、

サービスと、戦争で消耗される膨大な需要が日本産業をうるおした。この戦争で稼いだ外貨収入のおかげで、日本の復興が加速され軌道に乗っていく。企業は特需景気で稼いだ莫大な収入の多くを技術に投資しようとした。朝鮮戦争の終了後間もなくトランジスタ特許が有料で公開されたことは、技術に投資しようとする日本企業に大きなヒントをもたらしたに違いない。

すでに見てきたように、実験室のレベルではどの企業もなんとかなっていた。しかし、量産となると話が違った。同じ品質のものを大量にローコストで生産する技術は、実験室で一個成功するのとわけが違っていたのである。そこで日本の企業は、朝鮮特需で余裕のできた資金を外国企業との技術提携に使うのである。たとえば日本電気がGE社と、日立製作所がRCAと、三菱電機がウェスチング・ハウス社と、それぞれ技術提携を結ぶのである。

ところで、トランジスタを量産するために技術を買おうとすると特許料を払うことになるが、これが一種類ではない。まず接合トランジスタの基本的な仕組みについての特許、つまり基本特許に対して使用料を払わなければならない。この特許に基づいて自分で製造法を編み出すのなら、出費はこれだけですむが、普通は製造についての特許も買わないとトランジスタができない。合金型ならRCAとかGEの特許を買い、成長型ならWE社の特許を買うことになる。

さてこれで量産ができるかというと、現実には不可能なのである。量産では製法特許には書いてない製造上のこまごまとした知恵や工夫がものを言うのである。もちろん時間をかけて試行錯誤を繰り返し、失敗を重ねていけば、いつかは同じ知恵にたどりつけるかも知れないが、それでは競争に負けてしまう。ところが、AT&Tグループは基本および製法特許は売ってもノウハウは絶対に売らないのが社是であった。したがって、日本企業は基本特許をAT&Tから買い、製法特許とノウハウをR

CAやGEから買ったのである。

長船　研究室ではグロウン型もアロイ型もできるんですが、量産となると手も足も出ない。同じ規格のものを大量に低いコストで生産するにはどうしたらいいのかわからないんですね。時間をかければやがてコツがわかるんでしょうが、それでは競争に負ける。

――量産にはやはりノウハウ契約でないと駄目ですか?

長船　ええ。駄目ですね。

――それで技術提携ということになる?

長船　そう。WE社は特許契約は結んでもノウハウは契約はしない会社ですから、それでTI社とGE社へ行ったんです。TIには簡単に断られてしまって、結局GEとノウハウ契約をしたんです。

――ところで特許契約とノウハウ契約は違うんですか?

長船　違います。接合トランジスタの基本特許はAT&Tが持っていて、これをまず買わなければいけない。それから、この原理に基づいて違う製法が二つあって、それが合金型と成長型なんですね。それぞれ会社によって持っている製法特許が違うから、私たちはまず、接合トランジスタの仕組みに関する基本特許をAT&Tから買って、その上に製法特許を買わなければいけない。しかし、それだけじゃ量産はできませんのでノウハウ契約を結ぶ。これを結ぶと製法の詳細とか成功のコツを教えてくれるんです。何という会社の装置や薬品を、どういう具合に使えば間違いなく製品ができるかという製造上の極秘事項ですね。それでも不充分で、駐在員を技術提携先に常駐させる会社もあった。

――すると基本特許と製法特許だけを買っても、ノウハウ契約を結ばないと製品ができないんですか？

長船　いやいや。そんなことはない。ここ（頭）さえよければね。ただ、とんでもなく時間がかかって競争に負ける。それで結局、昭和三二年に技術提携の相手探しに私がアメリカに飛んだんです。二か月間アメリカ中を飛び回ったんですよ。ニューヨークに滞在して、ニューヨークにある各本社に工場を見せてくれと申請をして、ＯＫが出るとすぐに工場を見に飛んで行ったんです。

――でも、ノウハウ契約もしていない会社の技術者に、「はいどうぞ」とよく工場を見せたもんですね。まさか応接室に通されて映画を見せられて、お帰りください、ではなかったんでしょうね？

長船　いえいえ、工場に案内してもらいましたよ。あの頃はアメリカもおごっていたというか、おうようだったというか、何でも見せてくれましたよ。自慢だったんでしょうねえ。こちらがもう結構ですといっても、これも見て行け、あれも見て行けとね。

――見せたくて見せたくて、仕方がなかったんですね？

訪米中の長船廣衛氏（右から２人目）

長船　そうですよ。

――やがて、そっくりやられるとは？

長船　エヘヘヘヘ。夢にも思っていなかったんでしょうね。

契約せずに何でも聞きまくる

ノウハウとはどんなものかについて、わかりやすいエピソードがある。あのバケツ偏析で有名になった岩瀬新午さんは、電電公社の武蔵野通信研究所をやめて三洋電機に転じた。半導体事業を軌道に乗せるのが彼の仕事であった。彼もまた技術提携のためにアメリカの半導体業界を視察した。結局、合金型のトランジスタの技術を導入しようと考えた。トランジスタの基本特許を買うためにWE社に行き、合金型の製法特許を買うためにRCAを訪れた。そこでノウハウの何たるかを思い知らされるのである。

岩瀬　アロイ型というのはN型ゲルマニウムの表と裏にインジウムの合金部分をつくるんです。問題はインジウムの粒がゲルマニウムと溶融して合金になるときにゲルマニウムの生地にどれだけ深く食い込むか、その深さが問題でした。PNPサンドイッチの真ん中のN型層の厚さが狭ければ狭いほど特性の優れたトランジスタになるんですが、これが至難の業でした。インジウム合金の深さが深くなりすぎると中間のN型層を食ってしまうし、浅すぎるとN型層の間隔があきすぎてトランジスタの作用をしなくなる。（図23）

――PNPサンドイッチN型層を何十ミクロンという一定の厚さにつくるには、インジウム合

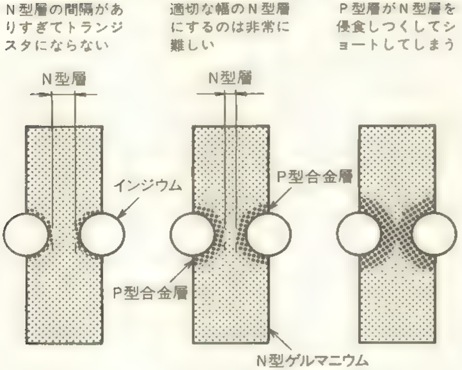
金がいつも一定の深さでゲルマニウムに食い込むようにつくらなければならない？

岩瀬　そうです。ところが、これが簡単ではない。私たちの悩みの種でした。

――RCAではどうやっていたんですか？

岩瀬　まったく意表をついたやり方をしていました。ゲルマニウムもインジウムも純度の高いものを使わなければいけないと思いこんでいたものですから、インジウムに異物を入れるなど思いも及ばなかったんですが、RCAではシリコンオイルを希釈して、インジウムの粒に吹きかけていたんです。

図23　合金型トランジスタのN型層



――シリコンオイルをインジウムにかけるとどうなるんですか？

岩瀬　炉に入れる前にインジウムの粒にシリコンオイルをかけてから、炉に入れて合金にすると、溶融したインジウムの表面張力が高くなってコロコロと丸くまとまったまま、ゲルマニウムに食い込んでいく。

――インジウムの粒にシリコンオイルをかけないで炉に入れると？

岩瀬　溶けたインジウムがベターッと流れるようにゲルマニウム表面に広がってしまうんですね。それがシリコンオイルをかけるだけで、きれ

いにゲルマニウムに食い込んでいくんです。

——こうした「製造上の実際」がノウハウなんですね？

岩瀬　そうなんです。ノウハウ契約を結ぶと、これを教えてもらえるんですが、特許を買うだけではそうした製造手法については一切教えてもらえないんですね。

——合金型トランジスタの重大ノウハウがシリコンスプレーだったんですね？

岩瀬　シリコンスプレーで特性を一定に確保することができたんです。

——こうしたノウハウは無数にあったんでしょう？

岩瀬　もちろんです。

——ところで、岩瀬さんがRCAにおいでになったときは、すでにRCAとはノウハウ契約を結んだあとだったんですか、前だったんですか？

岩瀬　アハハハ、前でした。

——それでノウハウを聞き出したんですか？

岩瀬　私は研究所あがりですからどうしても聞きたくなるんですね。向こうも聞かれたらしようがないでしょう。技術者同士だと議論になって、企業秘密とかなんとか言ってられないでしょう。僕だって聞かれれば答えますから。

——聞かれても教えることがなかったりして？

岩瀬　アッハハハ。あいつは契約もしていないのに、ずうずうしくRCAで聞きまくっていたなんて、どうせ日立の人でしょう、言いふらしたのは。まあなんと言われようと聞けるものなら聞いたほうが勝ちですからね。答えてくれなくてもともとですから、聞ければ儲けと

いうわけですわ。
技術契約もしていないのに何でも聞きまくる心臓の強い人という評判が、当時の岩瀬さんには立った。駄目でもともと、聞かなきゃ損々というのが信条であったと、彼は動じない。

——聞きたいことが山ほどあった？

岩瀬 もちろん、通研でやっていましたから、何を知りたいかはっきりしています。自分でやっていないと、ノウハウのポイントがわからないでしょうけれどね。

——自分でやってみなければ、何がノウハウかも読めない？

岩瀬 そうです。やってみるとどうしてもできない。なぜできないのか。何が間違っているのか。製法にどんな秘密があるのか。だから、悩んだことのない事柄など、いくら見てもけっしてひざを打ちませんよ。技術を学ぶというのはそういうことなんです。

——問題意識が沢山あるから、沢山の質問ができるんですね。？

岩瀬 それも図星の質問をね。ですから、大金を出してノウハウを買っている他の先輩各社の人たちからは、ずいぶんと心臓の強い奴だと思われたらしいんですがね。

——それで結局ノウハウ契約をしたんですか、しなかったんですか？

岩瀬 もちろんしましたよ。

——ああそうですか、ではノウハウのタダ取りじゃなかったんですね？

岩瀬 そうですよ。ノウハウなしでは無理ですよ。ですから、アメリカ人が日本に来たときは徹底的に接待しましたよ。京都の観光と芸者攻めでね。私自身が案内して、あちらが「もう結構」と言うまで誠心誠意ね。あちらで教えてもらった技術に感謝して、またこれからも

らう情報を見込んでね。芸者や観光旅行なんか、もらえる情報の値打ちに比べれば安いものですからね。

開発中のノウハウを入手する法

心臓の強さでは長船廣衛さんも人後に落ちない。昭和三五年に日本電気はGEと正式契約を結び、長船さんがアメリカに飛んで行く。

ところが、調べてみるとGEは契約にはない新技術の開発を進めていることがわかった。そこで彼は、その開発中の技術も教えろと粘るのである。

長船 調べてみると、GEはマルチ・チップ方式というICに似た技術を開発しているんですね。それで開発中の製品についてもノウハウを教えてほしいと交渉すると、いや、ノウハウ契約は現在生産中のものについてだけだと言うんです。そんなバカなことがあるもんかと、私は激怒したんですよ。

――でも、開発中のノウハウを教えろと言うのも少し強引ではないんですか？

長船 そんなことはないですよ。半導体の世界で今生産中の製品なんて、すぐに時代遅れになってしまうんですから。先々の技術を準備しておかなければ競争に負けるんですから。金を払う以上、開発途上のノウハウを教えてもらうのは当然ですよ。冗談じゃない、まったく。

――それで向こうは？

長船 製造中のものなら仕様書も品質管理のマニュアルも揃っているから迷惑をかけないですむ

が、開発中のものにはそれができていないから駄目だ。先の技術について教えて、実際にやってみたらできなかったと言われても責任が持てないから、そのようなあやふやな技術はお売りできない。この一点張りなんです。

――向こうの言い分はもっともだと思うんですが？

長船 向こうはもっともでも、こっちは困りますよ。技術の進歩が速いときに、今製造中のラインに乗っている技術なんてすぐに陳腐になるのは目に見えているんですもの。こっちだってなけなしの大金を払っているんだから、もっと実のあることを教えてくれって言ったんですよ。これは絶対に間違っていませんよ。

――そうですかね。それで、どうなったんですか？

長船 エヘヘヘ。うやむやにしちまった。

――どういうことですか？

長船 お互いに言いたいことだけ言って、私は相手の意向に構わず、開発担当者に直接会いに行ったんです。

――中枢直撃ですか？

長船 エヘヘヘ。彼らと親しくなってノウハウを全部仕入れてしまった。あんなの何も文書や書類でなくたっていいんですから。こっちの頭に入ればいいだけのことですからね。向こうの技術者と雑談していれば、いくらでも入ってくる。技術者なんてだれでも自分のやったことを自慢したいんですから、本音は。

――それは開発試作セクションの技術者ですか？

長船　ええ。私はノウハウ契約には、当然こうしたことも含まれていると解釈したんです。向こうの事務屋がそう解釈しなかっただけのことで。

――しかし、突然訪ねて行っても、そう簡単には目指す人に会えないでしょう？

長船　最初はね。でも強引に行けば、むげに会わないわけにはいかない。やがて二回が三回になり親しくなる。ですから私は顔になりましたよ、開発部門では。

――じゃあ、長船さん、これは予定の行動だったんでしょ？

長船　いや、結果がそうなっただけで、別に計画してやったわけでもないんですが、生産中のノウハウは若いエンジニアに調べさせて、私はもっぱら開発セクションとコネをつけて歩いたんです。

――なるほど。

長船　そうでなけりゃ、意味はないでしょう。この次は何をやるのかがいちばん大切なんですから、生き残るには。それで開発セクションの連中と仲よくなったですよ。すると連中もね「今のトップは金儲けにばかり夢中になって、新しい技術の開発に不熱心だ」なんてブツブツ怒っているんですよ。

――すると長船さんは得たりとばかり、「君が開発したい新技術って何を考えているんですか」と聞いちゃったりして？

長船　エヘヘヘ。まあそんなとこですよ。

――まるで密偵だ。それで結局は欲しいノウハウは手に入れたんですね？

長船　全部じゃありませんがね、ある程度はね。だって、私たちは無料でくれって言ったんじゃ

ない。莫大なお金を払った上のことだから、そりゃ元をとらなけりゃバカみたいなもんですよ。

——元をとるには開発中のノウハウをよこせというわけですね？

長船　「を」じゃなくて、「も」よこせです。正確に言うと。

——かなりガメツイ。

長船　アハハハハ。これはしようがないですな。ケチで欲深に生まれついたものですからね。

■ポンチ絵をもとに機械をつくる

日本電気がGEと技術提携の契約を結んだあと、開発課長の長船廣衛さんが渡米したとき、生産技術の責任者として共に渡米したのが、当時製造技術課機械設計係長の鈴木政男さん（六七歳）である。研究の長船、生産の鈴木と二人は絶妙なコンビで日本電気の半導体事業を軌道に乗せていった。独特の味わいが漂う長船さんの話ぶりとは対照的に、鈴木さんの話は歯切れがよく落語のようにおもしろく、私たちが言う「生きのいい話」をする人であった。九州日本電気の社長をつとめたあと、インタビューをしたときはミナトエレクトロニクスの常任監査役であった。現在はそこを勇退して、自適の生活である。

鈴木　あの当時、飛行機がハワイまで直行で飛べなかったから、途中のウエーキ島でガソリンを給油してハワイまで飛んだの。プロペラ機でね。あの時分、アメリカに行くっていうと、ノボリなんか立てて、出征軍人送るみたいな騒ぎだよ。あなたなんかにゃ出征軍人送るなん

て言ってもわからないでしょうけれども。

鈴木　――わかりますよ。すると、万歳三唱かなんかで。

そうそう。文字通り万歳三唱さ。バンザーイ、バンザーイ、鈴木政男君バンザーイってね。

――長船廣衛君バンザーイ？

鈴木　そうですよ。

――勝ってくるぞと勇ましく、勇んで羽田を出たからにゃ、手柄立てずに帰らりょか。バンザーイ？

鈴木　あなた、結構知ってるじゃないですか。

――そりゃ、年ですもの。

鈴木　へえ、その顔で。それはともかく、「なんで手柄を立てずに帰らりょか」ですよ。だってあなた、長船さんと最初に渡米したときは、GEとのノウハウ契約の第一陣として行きましたから、莫大な金額のイニシャルチャージを取られましてね。だからその金額に見合うノウハウをふんだくってこないと国には帰れませんよ。だから「勝ってくるぞ、勝たずにゃ帰らりょか」ですよ。

――技術先兵の責任感じて？

鈴木　猛烈に責任を感じましてね。ですから、これ見てくださいよ。

――わぁー、すごいですね。それ全部ノートなんですか？

鈴木　その時代からの全部の記録。

――一体何冊あるんですか？

鈴木　何冊あるんだろう。半導体の仕事やってるかぎりはと思って、書いてきたんですがね。

――これはすごい。このノートが一山ずつになっていますが、何か意味があるんですか？

鈴木　いや、年代別に分けてあるんです。昭和三〇年代、四〇年代、五〇年代とね。

――山の高さでいうと三〇年代なんていうのがいちばん多い？

鈴木　そう。五〇年代なんかになると、金儲けのほうにばかり関心が行ってしまって、事業部長かなんかになっちゃうと駄目ですな、技術屋としては。これから堕落が始まるんですよ。金儲けだとか、売り上げ増やすことだとか、そんなことばかり。

――中身が？

鈴木　中身がね。ところが、ほれ、初期の時代は絵ばっかり。

――向こうの工場でスケッチ？

鈴木　ええ。

――まるで技術密偵ですね？

鈴木　そんな気持ちはありませんが、ただただ一生懸命だっただけで。

――ああそうですか？

鈴木　これが最初に渡米したときの出張ノートです。

――あの「勝ってくるぞ」のときのですね？

鈴木　そう。あのときは、とにかく絵で描いて来たんですね。これは先ほど説明しました、あの合金型トランジスタの製法ノウハウです。

――写真など駄目だったんでしょうね？

鈴木政男氏

鈴木　はい。ですから、現地で必ず絵を描くわけです。そしてホテルに帰って整理して、夜も寝ずにキチッと描くんです。なにしろ「手柄立てずに」ですから。

――それ工場の中でスケッチするんですか？

鈴木　そうです。

――本当だ、絵ばっかりだ。

鈴木　そう、絵ばっかりです。これ汚らしい絵が描いてあるけど、帰ると必ず製造装置になっているんです、ぜーんぶ。

――ちゃんと形になる。

鈴木　なるんじゃない、するんです、努力をして。

――これ、教えてもらったんですか、それとも目で盗んだんですか？

鈴木　教えてもらったんですよ。莫大なノウハウを払ってますから。ただこちらがボヤッとしていたら何一つ持って帰れない。そこが「勝ってくるぞ」なんですよ。

――なるほど。

鈴木　ですから死に物狂い。その場で細かい寸法まで抜かりなく、全部メモってくるんです。

――なるほど。

鈴木　全部の機械見なくても、ポイントのところだけひょっと見れば、あとはつくれますからね。こっちだって機械のプロですから。

――はい。

鈴木　だいたいこのくらいの絵を描いてきますと、私の場合は機械が全部できちゃう。

――そうですか、こんなポンチ絵でねえ。

鈴木　これなんかノートに描くのが間に合わなくて。こういうふうに、報告書の形にして日本に送るでしょう。日本にいる連中も慣れたもんで、ポイントのところだけ描いて送っても、日本にいる連中が次々と機械をつくっちゃうんですよ。

――へえ、スケッチだけで？

鈴木　はい。

――説明なしでも？

鈴木　ええ、完璧に。

――さすが鈴木さんの部下ですね？

鈴木　僕たちが偉いんじゃなくて、日本人というのはそんなものなんですよ。あうんの呼吸でできてしまう。

――まるで超能力というか、霊感というか？

鈴木　出先と留守部隊が一心同体なんですね。ポンチ絵の裏にひそむカラクリが、ちょっとした説明でぜーんぶ読み取れるんですね。

■忘れぬうちにトイレに走る

日本電気玉川事業所三一工場三階の展示室の隣にある元「長船顧問室」には、長船さんが海外出張

で使った膨大なメモ帳がある。幅八センチ、長さ一五センチ、堅紙の表紙に横罫が引かれた三〇枚ほどの紙が綴じられている。これをつねにポケットに忍ばせて、見たこと聞いたことを逃さず記録した。断片に近い言葉、本人にしか理解できない数字、ほとんど輪郭だけの絵などで埋まっている。これをホテルに帰って精密な図面、正確な表現、詳細な説明に書き換えて本社に送ったのである。こうしたメモ帳を一回の出張で五冊から六冊も使った。

――長船さん、このロッカーですか、資料が詰まっているのは?

長船 そうです。これはGE関係。これは海外出張報告の綴り。

――それ、ちょっと見せてください。これは長船さんだけの出張報告書ですか?

長船 いや、行った人は全部。

――ウワー、これはまたずいぶん精密に書いてある。なるほど、こうやってアメリカの技術を余さず吸収したんですね?

長船 そうなんです。

――ああ、全部がマル秘ですね?

長船 そうです。マル秘です、当時はね。当然です。

――その上の段は何が入っているんですか?

長船 筆写論文集です。たとえばこれは「合金拡散法を利用したスイッチング素子」とか、沢山ありますよ。山のようにありますよ。

――下の段は?

長船 ポケットメモとか研究ノート。

——ポケットメモというのは？

長船　アメリカに何回も行きましたから、行った先で見たこと聞いたことを全部細大もらさずメモにして、ホテルに帰ってから整理したんです。これをつねにポケットに入れておいて、見たらすぐにスケッチしたり、聞いたことをすかさずメモる。

——ウヒャー、これはまたビッシリと。一回渡米すると、これが何冊くらいになるんですか？

長船　五冊から六冊ですね。

——毎晩ホテルで、これを見ながら報告書を書いて日本に送ったんですね？

長船　ええ。毎晩二時三時ですよ。

——死に物狂いで？

長船　そうですよ。会社の金で洋行しているんですから。情報を取るのが私の役目なんだから、当然ですよ。

——これは？

長船　これは研究ノートです。毎日やったことを綿密に記録しておきまして、つねに問題点を把握しておくんです。これがあるから、いつでも相手のノウハウがわかるんです。

——一体何冊くらいになるんですか？

長船　あの箱にいっぱいあるんです。

——ダンボールの？

長船　そう。まあ見たかったら勝手にどうぞ。

元東芝研究員の村岡久志さん(現在ピュアレックス代表取締役)は、独自の完全結晶技術を開発してプレーナー・トランジスタの日本上陸に対抗した技術者である。材料から製品まで一貫生産をするのが東芝の長い伝統であったが、半導体材料としての結晶材料を一筋に研究してきた人である。彼にも海外出張の思い出がある。

村岡 あの頃はもう課長になってたんですけどね。外国出張なんていうと、そりゃ使命感に燃えて行きますからね。貴重な外貨を使って派遣されるんですから、絶対に収穫がないといけないということになってますんで、死に物狂いでデータを取ろうとするわけですね。当時、東芝からニューヨークに駐在された方が私の面倒を見てくださったんですが、非常にしつけの厳しい方で、私があれもこれもと決められたこと以外の質問をすると、彼は「今のはプライベート・ディスカッションですね」と非難がましく言うんです。

――プライベート・ディスカッションというのはしちゃいけないんですか?

村岡 相手が答えてくれるかぎりはしてもかまわないんですけども、好意でやってくれるわけで契約外ですから、礼儀としては記憶だけにとどめ、記録はいけない。ただ、そんなときは非常にデリケートな話をしてくれるわけで、貴重なデータに満ちているわけですね。それで夢中になってしまって、契約内かプライベートかなんて区別がつかなくなっちゃうわけですね。それは客観的には非常にさもしい行動に見えたんでしょうね。

――しかし、村岡さんは使命感に燃えて?

村岡 メモしたいことは山ほどあるし。

――しかし、東芝の駐在員も大目に見てくれて、一緒に協力してくれればいいのにね。

村岡　よほど私の行儀が悪かったんでしょう、きっと。

――駐在員は村岡さんにどう忠告したんですか。

村岡　相手のお話を聞くときは、原則としてペンのふたにキャップをして胸にしまってから聞きなさいとかね、そりゃ厳しく言われました。

――ペンのふたをとってメモができる状態では駄目だと。

村岡　はい。ノートしようとすると、駐在員が険悪な目つきでにらむ。私はハタと困りましてね。しようがないから一生懸命記憶しようとするんですが、大事なデータが頭から消えてなくなりそうで、トイレに立つんですね。で、トイレで一生懸命メモしまして、そ知らぬ顔で戻ってきて話を続けるんですが、やがてすぐに大事なデータが話の中に飛び出してきて、またトイレ。あまりひんぱんにトイレに立つもんですから、相手もけげんな顔をするし、駐在員も「おなかの具合が悪いですか」と聞く。「ああアメリカの水は悪いですね」なんて言い訳しちゃって。それはもう非常に苦労したもんですね。

村岡久志氏

――相当に臭いメモがポケットにたまりましたね？

村岡　そう。そしてホテルに帰ったら、それを見ながら必死でノウハウの復元をする。どのメーカーの皆さんもきっと同じ苦労をしたと思いますよ。

――なるほどね。

村岡　でも、当時のアメリカ人は本当に親切でしてね。今でもなんとか恩返しをしたいと思うくらい感謝してるんです。日本は

アメリカの手ほどきでここまで来れたんですからね。

「まずRCAを徹底的に真似よ」

大野稔さんについては前述したが、彼の上司が宮城精吉さんであった。RCAとの間で包括技術契約を結んだ日立製作所が常駐技術員としてニューヨークに派遣した技術者であった。丸紅飯田の木村市太郎さんが呉越同舟の技術者たちをRCAに案内するとき、しばしば手配を頼んだのも宮城さんであった。

大野 これ宮城さんの出張報告書ですよ。これテレビに出ると宮城さん嫌がるかなあ。

――へえ、これが。

大野 宮城さんがRCAに出張したときの報告が、その後の日立の出張報告のスタイルになったんですね。報告を待っている日本では、こんなものを見たり、それから『トランジスタ・テクノロジー』を見たり、雑誌の論文を見たりして。

――宮城さんの出張報告がなぜ貴重だったんですか?

大野 RCAの正式の文書には書かれていない、その裏にひそむ、もう少し細かいノウハウとか、その理由とか、そういったことが報告書にはいろいろ書いてあるんですね。

――なるほど。

大野 それに宮城さんは大変スケッチが上手でして、特に女子ワーカーのスケッチが大変すばらしくて、みんなノウハウの吸収以上に感心したものです。

――写真ではなくて？

大野　写真なんか撮れませんよ。写真機なんか持ち込み禁止ですからね。

――大事なところは手でスケッチする？

大野　大事だと判断したところをスケッチして送るんですね。

――かなり精密に？

大野稔氏

宮城精吉氏（当時）

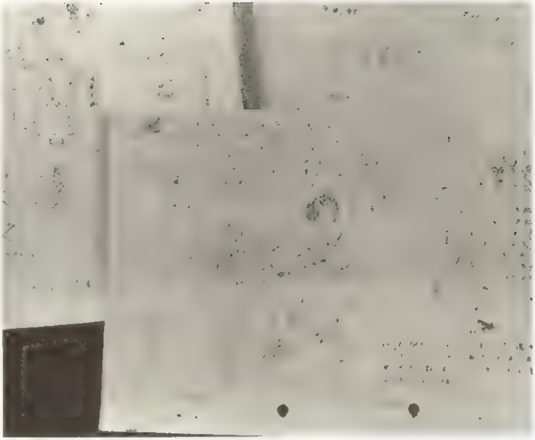
大野　そう、精密。ほれ、これですが、こんなに丹念に描かれている。後に私もこれを真似したけど、こんなにうまくは描けなかったですよ。ほれ、これなんか治具なんでしょうけれども、ピンセットもちょっと特殊なものですね。

――現場で見てきたのをこっそりメモって？

大野　いや、書くことは堂々とやれたんじゃないでしょうか。私もやったのを覚えていますから。これなんか非常にリアリスティックに描かれているでしょ、こういうのを次々と送ってこられたんですよね。

――日本の工場側はそれを待っているわけですか？

大野　そうです。工場のほうからも、ここのところはどういうふうにしているか調べてほしいという要請を出張所に出したり、あるいは向こうからの報告の疑問点を再び問い合わせたりしていました。


巧みなスケッチが入った宮城氏の出張報告書

——出張者は技術吸収の先兵だった？

大野　そう。技術提携していますから、窓口の技師ディック・ハンティンガーとかジム・デービスに手紙を出せば親切に返事をくれましたが、やっぱり技術屋が直接行って見届けたほうがかゆいところに手が届きましたから、交代でRCAに出張したんですね。

宮城さんが本社に送った報告書の綴りのうちの一冊を見せてもらった。A四判で二七三枚。第四報から第一五報までを一冊に綴じこんだものである。第四報以前と第一五報以後については不明である。ファイルされているのは青焼きのコピーで、原本ではない。原本は保存し一部のコピーを回覧している。回覧先が六か所で、責任者が見た日付と印が押されている。もちろんマル秘扱い。以下に概略を記す。詳細な報告をひんぱんに本社に送ったことが読み取れる。

第四報「ゼネラル・エレクトリック社のシラキュース工場の見学結果について」昭和三二年九月四日付。三四枚。

第五報「ウエスタン・エレクトリック社のグロウン（成長）型トランジスタの製作について」九月一

四日付。六一枚。
第六報「ドリフト・トランジスタの考察」九月一九日付。三一枚。
第七報「出力トランジスタ2N301の製造状況」九月二二日付。二三枚。
第八報「RCAサマービル工場の機械設備概況」九月二五日付。三〇枚。
第九報「トランジスタの封止について」九月二七日付。一八枚。
第一〇報「ダイオード製作法について」一〇月一三日付。二一枚。
第一一報「単結晶製作の状況」一〇月一六日付。三三枚。
続第一一報「単結晶特性の品質変動」一〇月二二日付。二枚。
第一二報。紛失。
第一三報。紛失。
第一四報。紛失。
第一五報「品質管理などその他」九月一八日付。二〇枚。
各報とも豊富なスケッチを中心に詳細な解説が記述されている。この報告書の中に「志あるところに道あり」という記述があった。それは本社の技術者たちに対する檄文か、自らの決心か。社運を担って海外に出た技術者の心情をかいま見るようである。報告書の中の一ページを紹介しよう。写真がそれである。

やがて大野稔さん自身がRCAに派遣されるが、彼もまた捨てきれぬ数々のノート、海外出張報告、メモ帳などを保存していた。

大野　RCAの存在は、外貨規制の厳しい当時は、最も説得力のある海外出張理由でした。RC

Ａからインビテーションの手紙を出してもらえば、本社の常務会も許可しないわけにはいきませんでした。かくかくの理由で貴社の技術者を派遣されたいと書いてもらうのです。

――それがあると、大蔵省が外貨の割り当てをしてくれる？

大野　きっとそうでしょう。この出張伺いで見ますと、費用の全額が円にして一五二万円。およそ四二〇〇ドル。これで往復の航空運賃を払い、三か月、九二日間アメリカに滞在しなければなりませんでした。

――アメリカでびっくりしたり感動したりしたことは、きっと沢山あるんでしょうね。

大野　あります。まず、アメリカ人があんなに親切でおおらかな国民だとは思わなかったですね。だから、たちまちアメリカに惚れ込んだですね。ＲＣＡとの契約では、この範囲は見てもいいよ、教えてもいいよといったノウハウ伝授の範囲みたいなものがあったんですが、そういうところもわれわれの世話役は相当融通をきかしてくれましてねえ。ですから、くどいようですが、ＲＣＡというのは日本の半導体を立ち上げてくれた恩人だと思っているんです。ＲＣＡも今はあんなふうになって、どこかに買収されてしまいましたがね。

――なるほど。

大野　これが私の書いた報告書です。こういう報告書を夢中で書き送ったんです。

――それは見たこと聞いたこと全部ですか？

大野　現場でパパパッと見てメモやスケッチをして、ホテルに帰ってから、あれはどうだったかなと思い出しながら精密に書き直して整理して日本に送りました。

――どれくらいの頻度で本社に送ったんですか？

大野　人によっても違うんですけれども、私の場合で三か月間に一九報。

――ということは、一週間に二報ぐらいの割合ですね。

大野　平均してそうですね。

――それを東京ではどう扱ったんですか？

大野　東京ではまず極秘原本としてファイルする。その上で関係者にはこれを青焼きコピーにして配付しました。「RCAだけをやれ、自分勝手は駄目だ」とね。たまに自分の考えでやって、それがまずくなると「やっぱりRCAをやらないから駄目だ」と言われましてね。RCAの言うことを金科玉条の如く踏襲するというのが会社全体に浸み透っていました。

――基本的な考え方というのは何が何でもRCA？

大野　そういうことでしたね。それはそれで非常にいいんじゃないかと思うんです。一つの学び方として。ともかく定石みたいなものをマスターするということは大切なことですからね。当時はRCAが世界でいちばん進んでいましたから。そこを徹底的に真似するのがいいんだということじゃないでしょうかね。

――徹底的な定石主義。

大野　まず基本を徹底的にマスターする。その上で自分のアイディアを少しずつ加味していって、だんだん自分のものにしたというところではないですかね。

――最初はまず徹底的な模倣から出発した。

大野　このやり方は結構日本的でいいんです。踊りなんかもそうでしょう、師匠のところに弟子入りすると徹底的に師匠の真似をせいと。けっして自分勝手は許されない。適当に学んで

から自分のやり方を加味して、自分のスタイルを築き上げるというやり方。これは日本人が非常に得意とするところではないですかね。私は外国の研修生を受け入れていろいろと教えたことがあるんですが、理屈ばかり言って、言う通りにやらないんです。そのくせやらせてみると何もできない。だから、能率が悪くてしょうがないんです。

――できもしないのに口ばっかり。

大野 そう。だから半導体の基礎学習と訓練のためには、日本流の学び方というのは結構よかったのかなとは思っているんです。

――アメリカの工場現場に行ってノウハウを吸収する場合、自分でやって苦労していないと技術を盗みようがないというところもあるんでしょうね？

大野 そうそう。自分で経験していると、日本でやったときはこうだったのに、なぜここではこれがこうなんだろうとか、いろいろと比較対照できますから、疑問が絶えず出てくるんですね。また自分の経験と比較しながらディスカッションできますから、相手と深いディスカッションができるんです。すると深い事柄を吸収できる。

――やっていないと？

大野 やっていないと、やっぱり一通りのことしか聞けない。技術屋さんならすぐわかるから、向こうだってバカにして本気で相手にしない。

――これは素人だと。

大野 と思うんでしょうね。

――なるほどね。ところで、こうしたファイルは捨てる気になれない？

大野　なれませんよ。役に立たなくなったから廃棄すると言われたのを、私がもらい受けて保管しておいたというわけです。

──もったいなくて捨てられない。

大野　今の人にとってはこんなもの何の役にも立たない紙くずにすぎないんでしょうけれども、私どもにとっては一行一行に人生が染み込んだ貴重なマル秘文書ですから、とても捨てられないですね。

ニューヨーク市から車で二時間、州道一号線を南におよそ一〇〇キロ走るとプリンストンの町に出る。ここに元RCA研究所がある。現在スタンフォード研究機関のサーノフ研究センター。広大な芝生に囲まれた大きな建物である。かつて総合電機メーカーとして世界に君臨していた頃、日本の技術者にとってはベル研究所やWE社と並んで最も重要な訪問先の一つであった。日本人技術者はだれもがRCA詣でをしたものである。

RCAは集積回路の時代に入り、新興企業のフェアチャイルド社やTI社の革命的な技術に敗退して半導体事業から撤退した。その後電気製品の分野でも日本製品の追い上げを受けて経営不振に陥り、一九八六年に工場をGEに、研究所をスタンフォード研究機関に売却した。研究所につけられた名前「サーノフ」は、RCA全盛期の社主デービッド・サーノフの名前である。

この研究所の図書室の隣にサーノフ展示室がある。そこにはサーノフがRCAを創業してから他界するまでに、アメリカ国内をはじめ世界各国からもらった無数の勲章や表彰状や感謝状が所狭しと飾られていた。その中に和風の部屋があり、壁には一枚の大きな掛け軸が下がっていた。「RCA会長デービッド・サーノフ氏の訪日を記念し茲に氏の電子工業界に於ける先駆者としての不撓の努力と不滅

の功績を讃えて之を賞す」と墨痕鮮やかに書かれたあとに松下幸之助、井深大、石坂泰三ら全部で八二人。当時の日本電気産業界の主要な経営者の名がすべて連なっていた。

ゲルマニウムを切る月光仮面

徹底的にアメリカの量産技術を学ぶことで日本のトランジスタ工業は産業として根づいていくのだが、彼らがなぜアメリカに頼らざるをえなかったのか、もう少し時代をさかのぼって見てみよう。

トランジスタの発明を知った長船廣衛さんは、社内上層部の反対を押し切って予算の裏づけもなく研究に着手した。彼は知恵をめぐらせて文部省に研究補助金を申請した。当時、トランジスタの研究は目新しいテーマであった。文部省から一〇〇万円の研究費が下りることになったが、条件があった。会社が研究を正式に認知し、少なくとも補助金と同額の研究費を保証することであった。会社はやむなく一〇〇万円の研究費を出したのである。合計二〇〇万円の資金を確保した長船さんは、それで粉末ゲルマニウムを買い、水素還元炉をつくり、ゾーン・リファイニング装置をつくり、単結晶を引き上げた。昭和二五年のことである。

――いよいよ、単結晶棒をスライスして薄い板にするんですね?

長船 ええ、そうなんです。ところがこれがまた大変。ダイヤモンド・カッターが入ったのが昭和二七年の終わり頃でしたから、それまではカッターがなかったんです。

――そりゃ、困りましたね。

長船 それで仕方がないですから、研磨剤をプラスチックで固めて薄い板にしたものをグライン

ダーに取り付けて回転させたんです。タングステン・カッターといって戦時中からあったんですが、タングステンのように堅くて真っすぐなものを切るには都合がいいんですが、ゲルマニウムのようにデコボコしたものはすぐに刃が引っかかってバーン。

——破裂ですか？

長船 ちょっと傷がついてもバーンと破裂するんです。とても危ない。そこでゲルマニウムを切る人はね、手に軍手を二枚はめ、全身をタオルで巻いて目だけ出して、目は眼鏡をかけて防護したんです。

——全身白いタオルで巻いて眼鏡をかけるんですか。それじゃ月光仮面ですね？

長船 そうしないと危ない。ゲルマニウムを切っている最中に刃がバーンと破裂するんですもの。

——さて、今度はこれを薄く磨くんですね？

長船 そう。これを道具がないから紙やすりで磨いたんです、手で。するとね、指の指紋がなくなってしまう。血がにじんできて痛くなってくるんです。すると、今度はおまえやれって交代するんです。だって、さっきのようなカッターですから、どんなに薄く切りたくても五ミリ以下にはならない。それを〇・五ミリ以下に薄くしなければいけない。

——えっ、五ミリから〇・五ミリまで、ゴシコン、ゴシコン？

長船 そう。

——なぜ？

長船 充分薄くないと電気抵抗が高くなりすぎてトランジスタにならない。

——へえ。

長船　ですから紙ヤスリでこすって薄くしたんです。ゴシコン、ゴシコンと明けても暮れてもね。

――何人で何日間？

長船　八人で、何日だったかな、とにかく何日かかかっているんですよ。

――一枚の結晶を交代で朝から晩まで？

長船　ええ、一人が二時間くらいずつね。でも仕方ないでしょう。予算ゼロでもやるって、言っちゃったんですから。昭和二八年三月末にドイツのリッカーマンからダイヤモンド・カッターを輸入したと研究ノートに書いてありますから、それまでは切断には苦労したんです。

半導体は落ちこぼれの仕事？

日本電気の場合は反逆者と言われながらも長船廣衛さんたちの手で続けられてきたトランジスタの研究も、量産時代に入って産業技術のプロが必要になった。長い間、長船廣衛さんたちの手で進められてきたトランジスタ生産を自動化せよと命じられ、玉川工場に転属させられたのが機械の専門家、鈴木政男さんであった。トランジスタが発明された直後からこれにとり憑かれた数少ない人たちはともかく、普通の技術者にとってトランジスタをやれと言われれば、それは青天の霹靂、人生の挫折を意味したというのである。

鈴木　私が日本電気に入ったのが昭和一八年。卒業と同時に海軍に入っちゃいましてね。海軍で急降下爆撃隊なんかの整備士をやってました。

――ご専門が？

鈴木　機械です。ですから長い間、私はクロスバー交換機を設計製造する責任者でした。三田に

大きな工場がございましてね、そこでクロスバーの自動接点溶接機だとか、それからワイヤースプリングリレーだとか、そういうものの自動機械を設計していたんですよ。半導体のハの字も関係ない。だから半導体部門に行って仕事をやれと言われたときは、「あっ、おれは落ちこぼれたんだ」と思って、もうガックリきたもんですよ。

――へえ。

鈴木 三田はものすごい重装備の機械がワンワンうなりを上げてるところでした。そこで七年間自動機械の設計をしていたのに、ある日突然「お前は半導体工場へ行け」と言われた。で玉川の工場に行ってみたら、これがなんと、女の子たちがピンセットを持ってノミ取りまなこみたいなことやってんでしょう。ああ、これでおれの人生も終わったかなあと。

――ピンセットでノミ取りまなこ?

鈴木 はい。なにしろ半導体工場だなんていったって、ピンセットと顕微鏡しかないんですもの。テレビなんかで遠景で写せば格好よく見えるのかもわかんないけど、あんなもの男がやる仕事じゃない、あんなのは。ですから、最初はイヤでしょうがなかった、この仕事が。

――でも、最先端の分野ではあったのでしょう?

鈴木 そうでしたかね。第一、気に入らなかったのが、当時の半導体工場なんて、ものづくりの場所なんかじゃなかった。まるで学者の遊び場でしてね。半導体やっていたのは長船さんみたいな人。長船さんなんていう人は、学者もいいとこでね、生産屋じゃないんですから。

――ほう。

鈴木 つまり、ものを繰り返して大量につくるなんていう感覚はないのね。彼が「こうやればで

きる」なんて言うのを聞いていると、ピンセットでやる竹槍戦法でしょう。それをおれに自動化してくれってんだから、困った。これがちょうど昭和三二年の夏でした。

長船さんが決死的な思いで取り組んだゲルマニウムの切断も、鈴木さんに言わせれば機械に無知な長船流竹槍戦法であっただけの話で、量産知らずのなせる結果だったというのである。

鈴木 長船さんがやったのは研究室ですから。長船さんは乱暴で機械屋さんじゃないですから、機械の原理を知らない。あれはね、グラインダーのスピードを速くしなければいけない。普通の砥石カッターのスピードというのは、回転数が一三〇〇から一六〇〇くらいで遅いんですよ。そういう遅い回転でゲルマニウムを引っかけるから、カッターがパァーンと割れて飛ぶんですよ。だから回転を速くすればいい。回転を三三〇〇くらいまで増やして速くしてやれば破裂しないんです。

——じゃ、長船さんは逆をやればよかったんですね。長船さんは破裂を恐れて、むしろ回転を抑え気味にした。

鈴木 実験室っていうのはね、自信屋集団だから、唯我独尊でよく調べもしないで思いつきでやるから、切ることぐらい何でも回転させて切ればすむと思って、回転数なんて全然おかまいなしにやるから、カッターが破裂するわけですから、バーンと。砥石なんていうのは回転数を遅くしてやれば、刃が石に食い込みますから、食い込めば割れるんですよ。

——カッターがパーンと破裂するから、体中を布で覆って月光仮面のようにしてゲルマニウムを切ったそうですよ。

鈴木 だから、長船さんは学者だって言うんですよ。まるで量産のことなんか念頭にない。研究

だけなら月光仮面ですむかもしれないけど、量産工場じゃそうはいかない。研究所っていうのは無理無体なことをやるところだから、月光仮面でも通るんですがね。

――研究の長船、量産の鈴木ですね？

鈴木　僕は機械屋だからね。

その機械エンジニアの鈴木さんにしても、当時の技術では限界があった。トランジスタ工場のさまざまな生産機械を自動化するのが鈴木政男さんの仕事であったが、これが簡単にはいかない。なにせピンセットと顕微鏡の世界だから、自動化できる部分には限りがあった。肝心な部分はトランジスタガールの目と手と根気にゆだね、その周辺だけを自動化するという時代が長く続くのである。

鈴木　これは、ペレットを厚さ別に分類する機械です。いかにも自動機に見えますね、大きな丸いテーブルがグルグル回っていて。

――ええ。

鈴木　ところが、そんな高級なもんじゃない、やってることは手でやってるんですね。それでも窓の外からお客さんに見せるとね、すごく自動化していますねって、みんな褒めて帰る。

――これは？

鈴木　これは測定装置です。これも外見は自動機械に見えますが、人間がトランジスタを一個ずつ機械に突っ込むんです。

――人間が？

鈴木　はい、人間が。

――手で挿入して？

鈴木　人間の手でトランジスタを機械に差し込んで測るんです。

――なーんだ、機械が関係するのは回転させることだけ？

鈴木　いや、まあお恥ずかしい。ですから、ほれ、ここに自動検査機と書いてあるんですけど、何が自動かわからないんですが、一応これが回転するから自動だと。だから私は、これは「にんべんつけろ」って言ったんです。自ら「働」く「自働検査機」とね。

――アハハハハ。

「量産の壁」と「無理解の壁」

トランジスタはまったく新しい産業であった。重厚長大の全盛期、産業とは製鉄であり造船であり化学コンビナートであるとだれもが信じていた時代、ピンセットと顕微鏡と無数の女の子の手に頼らなければできないトランジスタの製造など児戯に類する存在でしかなかった。だから、トランジスタを産業として離陸させていこうとした開拓者たちは「量産の壁」と「無理解の壁」を乗り越えなければならなかった。量産の壁はお金を出してノウハウを買うことでなんとかなった。しかし、無理解の壁は粘り強く説得を続けるしかなかったのである。

鈴木　半導体産業にとっての生命線は無数の周辺産業なんですが、今でこそ、半導体は儲かるものとわかって隆盛を極めていますが、初期の時代は周辺産業がなかった。

――周辺産業の開拓といいますか、説得といいますか？

鈴木　あの当時は半導体なんてだれも知らない。日本の大手メーカーにはいつも玄関ばらいでし

たね。どこに行っても相手にされなかった。当時の国内産業は重厚長大が尊い時代でしたから、ノミ取り産業の私たちなんか相手にしてくれませんでしたよ。ですから、すべてをアメリカから輸入するということになる。たとえばトランジスタの最終組み立て工程で端子の間をつなぐ金のワイヤーなんですが、当時の日本にはあんな細い金線をつくってくれるところがなかった。

――なるほど。

鈴木 トランジスタ用にかくかくの金線をつくってくれませんかと交渉に行きますと、「何トン必要なんですか」と聞かれて、「実は数キログラムです」でチョン。

――トン?

鈴木 トンですよ。われわれが使うのはせいぜい五キロとか一〇キロしか使わない。それなのに要求だけが桁はずれで「太さを三〇ミクロンにしてくれ」ですから。これでは相手にしてもらえませんよ。しようがないから、アメリカのセコムなんていう有名な金線メーカーから輸入しようとした。ところが、輸入は外貨を特別に大蔵省から割り当ててもらわなければできない。それで僕が「なぜ金線が必要なのか」という説明をしに大蔵省に行かなければならなかった。

――ところが、相手は?

鈴木 この外貨不足のおりに、金のようなぜいたく品をなぜ輸入するのかとくる。

――これはたまらない。

鈴木 大蔵省の役人にトランジスタの解説をしても通じませんからね。

――それはご苦労様でした。

鈴木　どこからも相手にされなかった。

超高純度で少量、超精密で少数。桁はずれの要求をしながら少量しか買わないトランジスタメーカーは、重厚長大が産業の主流であった時代、迷惑な存在ではあってもうま味のある魅力的な分野ではけっしてなかったのである。多くの企業が半導体産業にこぞって参入し始めるのは、彼らがエネルギー危機の洗礼を受けてからのことである。

したがってトランジスタメーカーは、系列の子会社とか町工場にも等しい零細な企業を相手に、無理を承知で機械の製造を頼むのである。鈴木政男さんが取材時に常任監査役をつとめておられたミナトエレクトロニクスも、かつては港区の日本電気本社の近くにあった零細な町工場であった。それが現在は、LSI自動検査機の分野では世界的なシェアを誇る大企業に成長しているのである。

鈴木　機械装置だってどこもつくってくれなかった。

――これも迷惑がられた?

鈴木　だいたいみんな玄関ばらいですね。それで、やっと応接室に入れてもらって商談に入ると、「何台いるんですか」「せいぜい一〇台」なんて。これでは機械つくってくれないわけですよ。だから、あの時分は逆に言うと、小さなメーカーさんを探して歩きましたよ。「これはいいよ。将来必ず儲かる」と言ってだましたり、すかしたり。

――へえ。

鈴木　それでもたいがい、ヤダヤダと言って逃げ回った。面倒くさいでしょ、なにしろ。あらゆることにモデルがない上に、今までの既成概念では想像もできないほど「うんと細くしろ」

か、「うんと正確に」ですからね。

――数が少ないのに無理難題ばかり？

鈴木 だから、僕が今いるこのミナトエレクトロニクスなんて会社も、昔は港区の芝にあった零細な工場だった。NECと目と鼻の距離だったから、無理難題を押しつけられて、いやだ、いやだと言いながらつくり続けた。そのうちNECが飛躍を遂げると、ミナトも大きくなった。いまや世界のミナトですからね。でも、最初はブースカブースカ言って抵抗してね。

――どう説得したんですか？

鈴木 今だと格好のいい話もあるんですがね。「これは日本の未来の産業を背負って立つもんだ」なーんちゃってね。でも、あの当時は、自分自身が「こんなちっぽけなもの売れっこないや」と思いながらやってましたからね。

――ハハハハ。

鈴木 人に向かって「こんなに将来性のあるもんだ」なんて、とても言えるもんじゃありませんでしたよ。本当にICの将来性が出てきたなぁと思ったのは、この仕事を始めてから一〇年もたってからですね。何だこんなものと思ってね。ラジオと電卓だけでしょ。こんなオモチャの親戚みたいなもの、エレクトロニクスじゃないと思ってたわけですよ。ところが、ICをコンピューターに使いだしたんで、これはもしかしたら半導体の時代になるかもしれないと思った。それは、僕がこの道に入ってから一〇年くらいたってからでしたよ。

装置や機械ばかりでなく、ガス、水、薬品など関係する分野は無数にあった。その一つ一つが超高水準でなければならなかった。それを説得し、どの分野にも「半導体仕様」の規格をつくってもらう

のも長船さんたちの仕事であった。

長船　装置類はまだ自分でなんとかなるんですが、薬品とかガス類は純度の高いものがありませんで困りました。酸素、窒素、こういったガス類は特殊な仕様書を書いて特別に製造してもらいました。NEC規格で日本酸素につくってもらいましたが、その後この規格を他社も使うようになりました。

——それを最初にやらされた会社も嫌がったんじゃないですか？

長船　ええ、嫌がりましてね。たとえばフッ酸ですが、これは半導体のエッチングに必ず使う重要な薬品だったんですが、当時フッ酸はガラス器具の目盛りを刻むときに使う腐食用の薬品ですから、純度なんかどうでもよかった。不純物がいっぱい入っていたんです。それを半導体に使うんだからと言って、純度を猛烈に上げてほしいと頼んだんです。

——不純物を取るというのは何の？

長船　重金属がいっぱい入っているもんですから、それを取り除いてくれと頼んだんです。

——不要な伝導物質ですね？

長船　そう。

——でも、相手にはその意味がわからない？

長船　ええ、なんで重金属が入っていて悪いのか、ガラスを腐食するにはこれで充分だ。

——どうやって口説いたんですか？

長船　これから半導体は大きな産業になるんだから、私の言うことを聞いて純度を上げれば他社もきっと買うんだから、あなたのためになりますよって説明したんです。

——どうしても国産で駄目だったものは？

長船　やむをえず輸入しました。グラファイトは原子炉の炉心に使うものをアメリカのナショナル・カーボン社から輸入しましたしね。これはボロンが入ってなくて純度に信頼性がありました。ボロンが入っていると、それがゲルマニウム結晶の中に混入して結晶内部の伝導度を精密にコントロールできなくなる。なにせボロン自体が添加用の不純物（伝導物質）ですから。

——何から何まで駄目？

長船　ガス、薬品、材料、それから製造機械は軒並み駄目でした。それをいちいちメーカーの立場から頭下げたり脅したり、なだめたり、すかしたりして品質を上げていったんです。

「工場に顕微鏡は無用なり」

トランジスタ産業が無理解の壁に阻まれたのは、社外だけではない。ある意味ではいちばん強硬で説得に難渋したのが社内であった。トランジスタの製造が、従来型産業のイメージからはあまりにもかけ離れていたからである。必要物品について、なぜそれが必要なのかを理解してもらおうとすると、トランジスタの原理から説明しなければならなかった。それがまた素人にはとんでもなく難しい。理解を超える世界には同情がない。

現在富士通副会長の安福眞民さん（六五歳）もゲルマニウムの精錬、単結晶引き上げから始めて現在の超LSIまで、トランジスタ産業の草創期から一貫して半導体事業に携わってきた技術者であるが、

量産に入る時代になめた辛酸物語を苦い思いで回想する。

安福　どうしても理解してくれなかったのが、微動装置と顕微鏡ね。微動装置というのは載物台と言ってね、それにトランジスタを載せてX軸、Y軸と微細に動かす。顕微鏡はそれをのぞく。だから絶対に必要なんですが、それが買ってもらえない。

――顕微鏡と載物台。

安福　だって顕微鏡の下で仕事しないと、できないわけですよね。ミクロン単位だから。ところがうちの偉い人はね、肉眼でやれと言うんだよね。顕微鏡というのは病院で細菌を見るものだと。われわれの研究に顕微鏡なんているはずないと。ましてものをつくるのに、顕微鏡を使うなんて何事だと。そういう話ですよ。

――わかってないんだ。

安福　わかってない。で、買ってもらうのに難儀してね。ごまかして買ってもらったり、いろんなことしましたよ。

――どうやって買ってもらったんですか。

安福　たとえば、顕微鏡は生産じゃなくて製品検査に必要だと言うと理解するわけですよ。

――つくるときに必要なわけではないんだと？

安福　まあ、他社でも同じだったと思いますよ。その話をしたとき、日立の柴田君なんかはそうだ、そうだと言ってましたよ。

――そうすると、もの一つ買ってもらうだけでも大騒ぎだったわけですね？

安福　大騒ぎ。それは今までとは違った世界だもの。顕微鏡の下でものを生産するなんて、それ

まではなかったんだから、だから顕微鏡何十台買ってくれと言ったら、腰抜かすわけ。

――説明してもわからない?

安福　「眼鏡の代わりです」って説明するんだけどね、なかなかわかってくれない、その頃は。

――一体何台必要だったんですか?

安福　やっぱり一個一個顕微鏡の下に置いてピンセットで針をセットしたりしますから、顕微鏡が各々一台でしょ。だから一〇〇人の娘さん、あるいは男の子が並んでダーッと仕事するでしょ。少なくとも一〇〇台必要ですよね。

――一〇〇台の顕微鏡を買ってくれと。

安福　そうすると、もめるわけですよ。顕微鏡使う産業なんてのが当時はなかった、世の中にね。顕微鏡というのは、学者かお医者さんが細菌を見るのに使うんだと。だから、インダストリーで顕微鏡使うなんてのはおかしいっていう考え方がありましてね。

――なるほど。

安福　XY微動装置なんぞ、ごまかさなかったら絶対に買えなかったもの。ゲルマニウムの小片を載せてX軸方向とY軸方向に精密に動かす台があったんです。これは絶対の必需品でしたが、これまた絶対に買ってくれなかった。一台や二台ならともかく、いっぺんに一〇台欲しいと言うと、そんなものどうして必要なのか説明せよと。説明すると「動かすくらいのことなら、そのような装置は必要ないはずだ」と勝手に向こうが決めつけるんですから。

――顕微鏡も駄目なら、その下で使う微動装置も駄目?

安福　どうやっても理解してもらえなかった。で、それなら名目を他の品目にして買っちゃえと

安福眞民氏

いうわけですよ。

——ほかにも説得に苦労したことがありませんでしたか？

安福 半導体工場の生死にかかわる重大事は振動とゴミ。これは半導体工場の二大ポイントですから、だれでも苦労しているはずですね。

——はい。

安福 昭和二九年頃のことですが、昔はドロンコ道を歩いて来るから服が汚れてね。それでせめて作業者には白衣を着させようとしたんですが、これがまた大反対にあいまして。

——だれが反対するんですか。

安福 勤労課が絶対反対、そんなものいらないと。何回説明しても駄目だった。工場で白衣など着たことがない。前例のないものを着る必要はない。わが社は交換機のような精密なものをつくってきたが、そんなものを着たことがない。それなのになんで、たかが半導体一個つくるのに白衣が必要なのかと。だからケンカはしましたよ。わからずやのデクノボウって言ってわめいたけど、断固として買ってくれなかった。購買部はOKだ、正当な値段だったら別に問題はないって言うんですがね、ところが服装は勤労部の所轄だったんですよ。

——勤労部がなんで反対するんですかね？

安福 知らない。なんかそういう伝統だったんだね。制服とか作業服の所管は勤労部の縄張りで、形式とか見かけが大事だったんでしょう。白衣じゃ工場らしくない、まるで病院みたいだ

と考えたんでしょう。

――安福さんは勤労部に何だって説明したんですか。それがなぜいるかと？

安福 ゴミが困るって。ゴミの水準が違うんだから困るんだってね。ところが、当時の勤労の人はまったく理解しようとしない。工場は充分清掃が行き届いているからゴミなど何の心配もない。富士通には長い伝統があって、そのような白衣を着なくても充分立派な製品をつくってきたんだから、お前は何を血迷ったかと。まあこんな調子でやられたわけさ。

――ひょっとしたら、その件で重役会やったりして？

安福 やってたかもしれないよ。ものすごくもめたんだもの。それで、こりゃとても説得できないから、非常手段でやろうって、ごまかしたんだから。他の品目で発注しちゃって。伝票上は違うもの書いてね。今、そんなことしたらうちじゃクビだよね。

――あの時代は許された？

安福 いや、クビをかけたんですよ、こっちが。ひどい時代だったから、あの当時はわからず屋が多くて。

■ゲルマニウム単結晶の量産工場

北海道岩内郡共和町、住友金属鉱山国富事業所電子工場。小樽の町から車で一時間、国道五号線を函館方面に向かって走ると、岩内町方向への分かれ道にさしかかる。その分岐点を右折して一〇分走ると、左手に高い煙突が見えてくる。ここが住友金属鉱山国富事業所であった。現在は廃鉱になって

いるが、明治・大正・昭和と豊富な黒鉱（銀や銅の原石）が採れる鉱山であった。
戦後、この鉱山の一角でゲルマニウムの精錬が始まった。年々黒鉱の採掘現場が深くなり生産コストがかさんで転進を考えていた事業所にゲルマニウム再生の仕事を持ち込んだのは、資本系列の同じ日本電気であった。昭和二八年のことである。以来、国富事業所は粉末ゲルマニウム（酸化ゲルマニウム）の水素還元から、ゾーン・リファイニング、単結晶の引き上げまで、一貫してトランジスタ用ゲルマニウムの結晶を生産し続けてきた。つい六年前までは合金型トランジスタの量産も行っていたという。現在は東欧圏を除けば、世界で数少ないトランジスタ用の高純度ゲルマニウム単結晶の量産工場である。なお、電子工場の中心業務はゲルマニウムの生産よりもガリウム・ヒ素といった化合物半導体など最先端技術の研究開発であった。
さて、この工場に長船・鈴木コンビがゲルマニウム時代につくった量産機械が数多く生きていた。今でも稼働しているのである。彼らが海外出張先で必死にメモをし、ホテルで寝ずに描いた図面が、やがて装置に化けた実例の数々であった。

鈴木　この写真ね、非常に初期の時代のゲルマニウムの純度を上げる装置なんですが、これも手製の機械でした。

——それは何を参考にしてつくったんですか？

鈴木　アメリカ視察メモや文献を読みながら、なーんにもないので、結局何から何まで自作せざるをえなかったです。酸化ゲルマニウムの白い粉を還元して粗製多結晶ゲルマニウムにする還元炉、量産型のゾーン・リファイニング純化装置、それを単結晶にする装置など、全部自分たちでつくったんですよ。

——酸化ゲルマニウムの還元から単結晶製造まで自作したんですか？

長船　そうですよ。今でも動いていますよ、北海道の住友金属鉱山で。

——えっ、今も動いているんですか？

長船　国富の事業所でね。

聞いてみると、国富事業所がゲルマニウムの仕事に手を染めたのも、当時は金と同じくらい高価で貴重だったゲルマニウムの切りくずを集め、日本電気が住友金属鉱山に再生を頼んだのが始まりだったという。

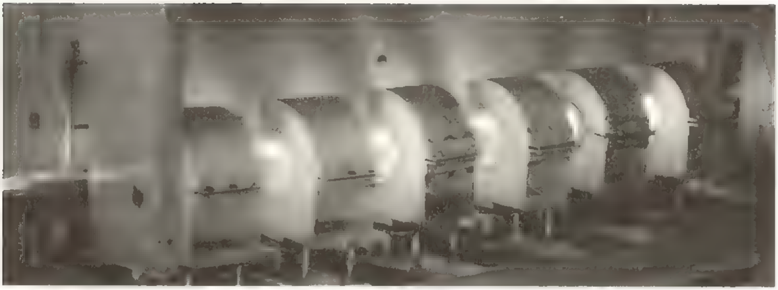
鈴木　ゲルマニウムが当時は大変貴重な物質でしてね。ゲルマニウムを切断するときに出る切り粉ね、あれには語るも涙、聞くも涙の物語がありましてね。あんまり、みみっちい話なんで言いたくないんだけど、まあ聞いてくださいよ。

——はい。

鈴木　ゲルマニウムっていうのはね、あの当時金と同じくらい高かったんです。ですから切り粉も回収した。ゲルマニウムは水をかけながら切るんですが、そうすると泥状になった切り粉が出ますね。これを集めてまた使うんですよ。シリコンの場合は捨ててしまうけど、ゲルマニウムは捨てられない。当時ゲルマニウムはベルギーしか産出しませんでしたから。

——希少資源？

鈴木　はい。ベルギーから輸入してましたから。で、その切り粉の泥を石油缶の中に入れて会社の屋上へ持って行きまして、天日で乾かすわけですよ。干物をつくるわけね、ゲルマニウムの。



国富事業所で稼働中のゾーン・リファイニング装置

――ほう。

鈴木 ずーっと屋上いっぱいに並べてね。漁村に行くとアジの開きを並べて干しているでしょう。あれですよ。あれを屋上でやるの。ゲルマニウムの粉を並べましてね。

――ゲルマニウムくずの干物をどうしたんですか？

鈴木 アジの干物みたいな屋上で干したやつを、今度は精製屋に持って行ってゲルマニウムのインゴットにしてもらう。その精製をやっていたのが住友金属鉱山なんですよ。やがて彼らはゲルマニウムの精製から単結晶の製造まで専門にやるようになり、私たちが自作したゾーン精製装置なんかも住友金属鉱山が引き取って使っていましたよ。

今、ゲルマニウムはアメリカが買う

住友金属鉱山国富事業所で製造されたゲルマニウムの単結晶は一体どこが使うのだろうか。聞いてみると少量は国内のゲルマニウム・ダイオードのメーカーに供給していたが、大半は輸出に回していた。調べてみると、国内にはゲルマニウム・トランジスタを製造している会社は一社もなくなっていた。では、大量のゲルマニウム単結晶

を今頃どこの国が使うのか。最初はヨーロッパとか共産圏の半導体後進国に輸出されているのかと考えた。そうではなかった。輸出先はアメリカだったのである。

ボストンから車で三〇分。国道九三号線を北に四〇キロ走るとアンドーバー市に入る。深い森に囲まれた静かで小さな町であるが、その中心部に会社が沢山入居している八階建ての共同ビルがある。その五階にゲルマニウム・パワー・デバイス社という小さな会社がある。国富事業所のゲルマニウム単結晶の多くがここに買われていた。三基の合金炉、一基の自動ボンディング装置、一基の拡散炉、化学処理室、写真工程のためのクリーンルーム、検査室。組み立てラインでは三人ほどの中年主婦らしき女性がのんびりとピンセットを動かしていた。副社長のジョン・アダムスさんが友人と一七年前に始めた会社で、結構儲かっているのだと教えてくれた。

アダムス　第二代アメリカ大統領ジョン・アダムスは私の曾祖父の兄弟にあたります。私の父は一九三〇年代後半からずーっと真空管の販売を商売にしていたのですが、時代のすう勢で半導体のほうへ移っていきまして、私も今は半導体に携わっているというわけです。

――なるほど。

アダムス　いまやIC万能の時代ですから、単体トランジスタの市場などどんどん衰退しているのですが、それでもパワーデバイスの分野ではまだまだ望みがあると考えています。特にゲルマニウムのパワートランジスタについて、わが社は新しい技術を開発しつつあり、まだまだ将来性があると考えています。

――いつ、この会社を設立されたのですか？

アダムス　一九七三年一一月です。四人の経営者がおりまして、みんな長い付き合いの友人です。

社長のオリバー・ワールとはハーバード時代のクラブ仲間で三〇年来の親友です。

――どうして、この時代にゲルマニウム・トランジスタが売れるんですか？

アダムス ゲルマニウム・ダイオードは今でも順方向の電圧低下が少なくて、大電力の交流を直流に変換する整流素子としては非常に効率のよい動作をするのです。現代のＬＳＩは熱を大変嫌い、放熱や冷却に腐心していますが、そうした装置の整流素子としては、発熱が少なくて効率がよいゲルマニウムには大きな需要が約束されているわけです。

パワートランジスタはＩＢＭやタンデム・コンピューターが一年に数千個という単位で購入し、驚いたことに大電力用のゲルマニウム・ダイオードはクレイ・コンピューターが最大の得意先であり、一九九一年は月に〇・五トンの割合で出荷することになっていた。また、小さな合金型トランジスタはインド陸軍の通信機用につくっており、ゲルマニウムはまだまだ使い道があるのだと、アダムスさんは強気であった。

――ゲルマニウム・トランジスタの需要はどれくらい続くと思われますか。

アダムス そうですねえ、私たち会社を設立したときから毎年、あと少なくとも五年は大丈夫だろうと言い続けております。

――永遠に続くとお思いですか。

アダムス それを見届けるまで、私が生きてるかどうかわかりませんがね。

――ところで、ゲルマニウムの単結晶はどこから購入されているのですか？

アダムス 主にベルギーのホーボケンと日本の住友金属鉱山です。

この工場の合金型トランジスタ製造についてはすでに述べた。吸引ポンプつきの真空皿にインジウ

ムをあけて、小さなインジウムの粒を苦もなく所定の穴に入れる工夫であったが、私たちがもっとびっくりしたのが自動ボンディング装置であった。半導体研究所の研究員が一か所の金線接続に一時間もかけて悪戦苦闘した作業を、数秒に一個の割合でこなしたのである。普通の生産スピードでは、撮影しても仕組みがわからないほどの速さであった。機械は、TI社が当時の秘密兵器として使ったという一九五〇年代アメリカの生産技術の粋を集めた装置であった。

合金炉から取り出したトランジスタは、わずか直径数ミリのゲルマニウムのペレットにすぎない。その両面の中心に直径一ミリほどのインジウム合金が点のようについている。これに毛髪ほどの金線を機械がつけていくのである。合金工程の終わったゲルマニウム粒を、瓶から自動装置の受け皿にザーッとあけると、あとは機械が一個ずつ拾いあげ、治具にセットし、金線をインジウムの点に垂らし、切り、炉に入れて溶着する。炉から出てきた金線つきゲルマニウムを機械が一個一個つまみ、金具に電気火花で接着し、最後には三本の足がついた姿で機械から出てくるのである。あとは金属キャップをかぶせ、真空封じにすれば完成である。これが一九五〇年代のアメリカの生産技術を雄弁に物語る見本であった。

ゲルマニウム・パワー・デバイス社の組み立てライン

当時、日本ではこの作業をしたのがトランジスタガールと呼ばれる女性従業員の仕事であった。大量

の人員を農村から集めて生産ラインに投入した。彼女たちを採用する資質条件が、目と手と根気であった。

第7章

ポケットラジオへの挑戦

トランジスタラジオの大ブーム

ベル研究所で成長型トランジスタを開発したゴードン・ティールが、石油機器会社テキサス・インスツルメンツ（TI）社のパトリック・ハガティ社長にスカウトされ、テキサスに転じたのは一九五八年のことであった。ハガティ社長はトランジスタの未来に大きな可能性を見いだし、ゆくゆくは半導体産業に参入しようと考えたのである。この読みは見事に的中し、TIは石油機器会社から半導体メーカーに転身する。

TIに転じたティールはまず人材の確保に奔走し、優れた研究員を集めてトランジスタ開発に乗り出す。このときティールの母校ブラウン大学で見つけた人材が、ウィリス・アドコックさんであった。彼はブラウン大学で化学を専攻し、物理化学の学位を取ったあと戦時動員され、テネシー州オークリッジで水中爆薬の研究に従事し、戦後はインディアナ州の石油会社シロス社の研究員として働いていた。母校を訪れたティールが、教授たちの評価を聞いて彼を直接訪ねてスカウトしたのである。

こうしてトランジスタ開発の体制を整えたティールたちが最初に量産に成功したのが成長型トランジスタであった。私たちが成長型トランジスタの復元をするため、むき出しのトランジスタをアドコックさんからもらえたのも、彼が開発の重要メンバーだったからである。

なおアドコックさんは、現在テキサス大学工学部の教授である。州知事から要請されてアメリカの国家戦略的な研究機関であるセマティックを、テキサスに誘致する運動の事務局長として活躍した。

アドコック　半導体の発達史を考える場合、TIのハガティ社長の果たした役割を見逃すわけにはいきません。後に集積回路を電卓に使って集積回路を大衆化させた点でも大変な功績を

上げるのですが、その前に世界で最初にトランジスタラジオを世に送り出すことで、トランジスタの発達に貢献しました。

――どのような経緯だったのですか？

アドコック　TIも一九五二年、二万五〇〇〇ドル払ってベル研究所からライセンスを獲得しました。当時社長だったハガティは何か大量にトランジスタを使える商品をつくろうと考えました。思案の末にハガティは「ポケットラジオをつくろうじゃないか」と言いだしたのです。エンジニアたちは五〇ドルという値段では困難だとか、短いアンテナでは性能が出せないとか、消極的でしたが、ハガティは反論しました。「私が考えているのは郊外や田舎の人たちのためのラジオじゃないんだ。都市で生活する人たちをターゲットに開発したいのだ。だから長いアンテナがなくても聴けるはずだ」と。やがて彼は、本当の狙いがラジオをつくることよりも、トランジスタそのものをつくることにあるということに気づきました。そこで私たちはトランジスタの製造に専心し、ラジオの開発は他の会社に任せようということになりました。

――なるほど。

アドコック　ところが、当時はラジオに興味を示す人はいませんでした。というのは、メディアはラジオ時代からテレビ時代に移り、ラジオはすたれ始めていたからです。しかし、パットは執念深く探し続け、ついにある会社に出会いました。アイディア・カンパニーというところでしたが、そこと協力して

アドコック教授

トランジスタラジオの製作を始めることになりました。

——なるほど。

アドコック　いちばん最初のトランジスタラジオは、設計だけで世の中には出ませんでした。最初は七個のトランジスタを使っていましたが、最後にはトランジスタ四個とダイオード一個に落ち着きました。ハガティが夢に見たトランジスタラジオが完成したわけです。このときのトランジスタ原価が一個一〇ドルでしたから、一台五〇ドルのトランジスタラジオは採算割れもいいところでした。しかし、これが市場に発表されますと、爆発的にトランジスタラジオのブームが起きました。大量に売れるとトランジスタの原価は劇的に下がり、TIは大きな利潤を手にできたのです。この成功がきっかけになり、他の会社、たとえば日本のソニーであるとか、そういったところがあとを追ってくるようになりました。

——ブームが起きたのですか？

アドコック　消費者はまだトランジスタラジオなどというものを見たことはなかったのですが、突如としてこれが大流行の品物となりました。いつの時代でも最新流行品に踊る人々がいるものです。

——特別な工夫をしたのですか？

アドコック　いろいろな色のラジオを売り出しました。象牙色、赤、黒と色彩豊かでバラエティに富んだ商品に仕立てたのも魅力の一つだったと思います。これがニュースとしてテレビや新聞や雑誌を通じて東海岸から西海岸まであまねく行き渡り、大変なブームを巻き起こしたのです。

――四石で十分な性能が出せましたか？

アドコック　出力が非常に弱かったのが弱点でした。それで販売戦術は、まずお客の耳をそばだてるには大きな音量が出ることを印象づける必要がありました。今日のラジオはスイッチを入れても突然大きな音が出ないようにボリュームは抑えめにしてありますね。スイッチを入れてからボリュームをだんだん上げるでしょう。ところが、初期のトランジスタラジオはスイッチを入れた瞬間に最高の音量が出るように設定されました。ボリュームが下がったままだと、ラジオがついているかいないかわからなかったからです。つけるといきなり高いボリュームが出るというのも、実はパワーが低いことを隠すためのトリックでした。

一九七ページの写真は、アドコック教授が保有していた当時のラジオである。こうしてTIは世界に先駆けてトランジスタを使って大衆商品を生み出すことに成功、石油機器会社からアメリカ有数の半導体企業に脱皮していくのである。

なおこれは余談になるが、TIがかくもスムーズにトランジスタの量産に成功できたのは、ゴードン・ティールの貴重なノウハウがものを言ったのは当然であるが、見逃してはならない要因がヘリウムガスの存在であった。テキサスはアメリカ随一の石油産出地帯であり、その副産物として良質なヘリウムが採れる。ゲルマニウムやシリコンの結晶を溶解するとき、酸化を防ぐために良質な水素ガスや不活性ガスを大量に必要とするが、テキサスでは水素や窒素以上に優れたヘリウムガスを安価に大量に入手できた。TIが半導体事業に成功するのも、この要因が非常に大きかったというのである。

井深大とトランジスタの出会い

同じ頃、日本にもトランジスタに企業の将来をかけていた人物がいた。井深大さん（八三歳）である。当時、ソニーの前身東京通信工業の社長であった。

ここで東京通信工業について概略を触れておこう。終戦の年の昭和二〇年、電気測定器株式会社の常務をしていた井深大さんは、日本橋にあるデパート白木屋の三階に東京通信研究所を創設した。最初はラジオの修理改造から始め、やがて短波ラジオ用のコンバーター、電気炊飯器などの製造を手がけた。

翌昭和二一年には、盛田昭夫氏や岩間和夫氏などの参加を得て東京通信工業株式会社として正式にスタートした。

真空管電圧計、ピックアップ、フォノモーター、バルボル測定器、ヘルシュライバー、レベルメーター、低周波発振器、通信用音叉、鍵盤模写電信機、二通話路搬送電話装置、二重平衡装置、歪測定器、ストロボ、断続発振器、パワーマイクなど、特注品の製造や自主商品の開発を続けてきた東京通信工業に転機が訪れる。連合軍司令部民間情報局の命令で、JOAK第六スタジオの設備改造工事を請け負うことになった。このとき見かけたテープレコーダーがヒントになり、録音機と録音テープの開発に乗り出すのである。これが成功して、放送業務用から民生用録音機まで需要を拡大し、東京通信工業は資本を蓄積した。

ウエスタン・エレクトリック（WE）社がトランジスタ技術を有料公開したのはそんな昭和二七年、東京通信工業が一つの目標を達成し、次は何に狙いを定めるか悩んでいた時代のことである。

――半導体と初めて出会ったのが？

井深　小学校のときの鉱石ラジオですよ。

――トランジスタの発明を知ったのが？

井深　一九四八年、昭和二三年でした。ニュースか何かで聞いてとっさに思ったのが少年時代の鉱石検波器でしてね。あんな不安定なもので仕事になるはずがないと思いましたね。ですから、最初はぜーんぜん興味なかった。

――すると、関心をお持ちになるようになったのは？

井深　あれは講和会議のあった翌年でしたが、昭和二七年にアメリカに行きましてね、そのときもっぱらテープレコーダーの販路開拓と、あわよくばテープレコーダーの新情報を得たいと思って、初めてアメリカに渡ったんです。

――どれくらい滞在なさったんですか？

井深　二か月半ほどだったんですが、アパートで夜寝つかれないんですね。いろんなことを考えると目が冴えてね。

井深大氏

――何を悩んで？

井深　そのときの従業員が一二〇数名。そのうち三分の一以上が大学、専門学校出なんですよね。今なら、そんなこと当たり前だと思われるでしょうけど、当時は大変異例なことでしてね。その頃、大学出や専門学校出の人は必ず幹部になって、将来はトップにならなければいけないと思われていた。昔はそ

ういう風潮だったですよね。だからこの人たち、これから一体どうすればいいのかなと考えると眠れないんですよね。

――またどうして、大学や専門学校出が多かったんですか？

井深 テープレコーダーのテープをこしらえるために、少しでも役に立ちそうな人を片っ端から入れちゃったんですね。ワーカーよりもデベロップする人を中心にね。

――頭のほうをまず充実させようと？

井深 そうそう。だってテープをつくろうたって文献なんてなかったですから、自分でつくり出さなければいけなかった。それでまず、開発部隊を先につくった。この人材をどうしたらいいのかと悩んでいたんです。

――ホテルで？

井深 いや、安い下宿ですよ。そしたらね、アメリカで世話をしてくれた友だちが「今度WEでトランジスタの特許を有料で使わせることになったが、興味ありませんか」と教えてくれたんですよね。そのとき、ああそうだ、わが社はこれだけ有能な人材を集めたんだからトランジスタをやらせよう。きっとトランジスタというのは難しいに違いないから、これを考えに入れようと思ったんです。

――不安定であんなもの商売にならないというお考えは？

井深 最初の発明からもう四年たっていましたから、合金型とか成長型といった針のないトランジスタができていましたから、考えが変わっていました。

――なるほど。

井深 当時はね、他の会社は包括特許の契約を結んでいましてね。たとえばRCAと包括特許の契約を結ぶと、RCAが持っているすべての技術が使える。ラジオだろうが、テレビだろうが、真空管だろうが、半導体だろうが、生産額の何パーセントかを払えば欲しい技術が手に入り、その上製造の詳細なノウハウまで教えてもらえた。その代わり、莫大な料金を払うわけですけどね。私たちのようにちっぽけな会社ではとても資金力がなくて、そんなことはできませんでした。ところが、WEは個別契約に応じてくれた。特許の使用だけを有料で許しましょうという会社だったんですね。その代わり、ノウハウについては一切外には売らないのがWEの方針でした。

――WEは基本特許と製造特許だけはバラ売りしてくれたというわけですね？

井深 そうなんです。でも、特許使用料が二万五〇〇〇ドルと聞いて、これは一時的権利金で、あとから莫大な使用料を取られるんだろうと不安になったんです。それではわが社には負担がきつすぎるかなと思ってね。しかし、よく考えてみると、二万五〇〇〇ドルは特許使用料の前払い金で、実際に使用した料金、生産額に応じた使用料は、その前金の中から差し引かれるのだと知って、それなら大丈夫だろうと思ったわけなんです。

――なるほど。

井深 それでさっそく通産省に、こういうことでトランジスタをやりたいと申請しましたら、テープレコーダーをつくったかなんだか知らんが、真空管もつくったことのないところに貴重な外貨など渡せないとケンもホロロに一蹴されましてね。

――絶体絶命ですね？

井深　ところが、アメリカで私たちの面倒を見てくれた方がベル研究所に行って、この会社は小さいけれど、テープレコーダーだけでなくテープも独力で開発した会社だと丁寧に説明してくれたんですね。そしたら、ベル研究所のほうがわれわれに非常な関心を持ちましてね、いつでも契約に応ずるということになったんです。

――しかし、日本では通産省が外貨を割り当ててくれないから特許料が払えない？

井深　ええ。ちょうどそんな時期に盛田君がヨーロッパからアメリカに回ってWEに行ったら、向こうは支払いはあとでもいいと言うので仮契約に調印した。そして、まだ仮契約だというのにWEが『トランジスタ・テクノロジー』などの必要文献を次々と送ってくれまして、それが事の始まりです。

東京通信工業のターゲットはラジオ

井深社長がテープレコーダーの次なる標的として定めたのは、トランジスタラジオであった。トランジスタそのものではなく、それを使ったポケットラジオであった。ここがTIと異なる点である。トランジスタそのものを狙ったTIと、最終商品を実現するための手段としてトランジスタも製造せざるをえなかった東通工。いずれも、このときの成功が足がかりとなって新興世界企業へと離陸していくのだが、東通工は電気メーカーに、TIは半導体メーカーへと違った道を歩むのである。

さて、井深社長の命を受けてトランジスタ製造の全責任を負ったのが岩間和夫さんであった。後にソニーの社長をつとめているときに病を得て他界したが、当時は東通工の技術を一身に背負った技術

担当取締役であった。岩間取締役が五人のメンバーを集め、彼らにトランジスタの製造をすると伝えたのは昭和二八年夏のことである。

メンバーの中の一人が塚本哲男さん（六九歳）であった。終戦の一年前に大阪帝国大学物理学部を卒業し、戦後の二一年に東京通信工業に入社した。このときまではテープレコーダーの開発に従事しており、トランジスタという言葉すら知らなかったという。彼は後にソニーの半導体製造課長、厚木工場副長、ソニー中央研究所副長、ソニー学園湘北短期大学学長などを歴任。私たちがお話を聞いたのも湘北短大であった。

塚本　昭和二八年八月のことでしたが、突然、岩間さんからトランジスタのことを勉強しろと命令されました。私は当時トランジスタという言葉すら知らなかったものですから、青天の霹靂でした。トランジスタ開発プロジェクトができてそこに加えられたんですが、当時のメンバーは五人だったと思います。

――皆さんはまず何から手をつけられたんですか？

塚本哲男氏

塚本　まず勉強会を開くことになりました。岩間さんが丸善から買ってきた分厚い洋書、ショックレー著『エレクトロン・アンド・ホールズ』を教科書に使いまして。

――工場で一日中お勉強ですか？

塚本　いえいえ。昼間は今までの仕事を続けていまして、毎日昼間の業務が終わると工場の一角に集まって、二時間ほど洋書の輪読を続けたんです。全員が約三ページずつ和訳してきて、

順番に発表し、議論しました。

――横文字を縦に直すのは、それぞれが自分の家でやったんですか？

塚本 読書会が終わると家に帰り、辞書を片手にノルマの三ページを和訳したんです。

――それはご苦労なことでしたね。

塚本 でもね、ショックレーの本は大変わかりやすく書かれておりまして、これが学術書かとびっくりいたしました。偉大な科学者がこのように平易に解説することなど、私たちには想像もできませんでしたから。

――なるほど。

塚本 ショックレーの本は一部と二部からできていまして、二部のほうは高度な量子力学の分野にまで及んでいましたので、当面の開発には関係がないということで勉強会は一部で終わることにしました。

――結局どれくらいかかったんですか？

塚本 約三か月で完全に読破できました。そうしているうちに、やがてベル研から『トランジスタ・テクノロジー』という上中下三冊の本が送られてきました。これは特許契約をしたところには必ず送られてくる解説書でして、東京通信工業がWE社と特許契約をしましたので、解説書をベル研から送ってきたのです。

――これでテキストは揃ったわけですね？

塚本 でも、それはトランジスタ特許の原理的解説書でして、トランジスタ製造の詳細を書いたものではありませんでした。

――ノウハウ・ブックではない？

塚本　そうなんです。『トランジスタ・テクノロジー』はトランジスタの原理についての解説がほとんどでして、製造については概略と写真が数枚載っているだけで、大変がっかりいたしました。

――理屈なんかより、実際のつくり方を詳細に知りたかったんでしょうね？

塚本　そうなんです。ところが、それがないんです。概略と数枚の写真、それが製造についての手がかりのすべてでした。

――ノウハウ契約をすれば、どのような材料を使って、どのような道具を使って、何を何パーセント混ぜてうんぬんといった製造技術上の真髄部分を教えてもらえたんでしょう？

塚本　その通りです。通常、特許契約のほかにノウハウ契約を結びますと、工場のレイアウトから作業指導書の詳細に至るまで手とり足とりで教えてもらえるんですが、WEはノウハウ契約には一切応じない会社でしたので。

――なぜですかね？

塚本　ベル研はAT&Tの研究部門であり、ベル研で研究されたものを、同じAT&Tの工場部門であるWE社が製品化し量産し、AT&Tがそれらを使うといった仕組みになっているんですね。AT&Tは特許は売っても製造ノウハウは一切外に出さない主義でした。ですから、ベル研に製造の詳細を期待することはできなかったのです。そういうわけで、他の各メーカーはRCAと技術提携し、製造ノウハウの一切を入手して生産に入ったんです。

バカが日本からやって来た

製造ノウハウはなくても特許さえあれば同じものを独自につくってみせると意気込んだ技術陣であったが、実は成長型トランジスタには大きな欠点があった。すでに詳述したが、単結晶引き上げの途中でP型の伝導物質ガリウムを投入し、一〇数秒後にN型伝導物質アンチモンを投入する。結晶内部に形成させるNPN構造のうちP型層の厚みは、アンチモンの投入タイミングで決まることになる。早ければP型層は薄くなり、遅ければ厚くなる。電波を相手にするラジオでは高周波特性が悪いと使いものにならないのだが、成長型トランジスタでは高周波特性が期待できなかった。P型層を薄くしようとしてアンチモンの投入タイミングを早めると、なぜかP型層が消えかかり、今度は耐性に劣化を起こして、トランジスタにならない。あちら立てれば、こちら立たずなのである。

この点はWEやベル研究所の技術者たちも充分知っていて、ライセンスを買ったお客には強く注意を促していた。

だから、開発した当人であるゴードン・ティールを抱えるTI以外は、成長型トランジスタでラジオをつくろうなどと考えなかったのである。

井深　正式のライセンス契約をしにWEに行ったときのことなんですが、向こうの人がね「トランジスタをつくって何に使うのか」と聞きますから、私はもうラジオしか頭にありませんでしたから「トランジスタラジオをつくりたい」と答えたんです。するとね、「それだけはやめたほうがいい、そんなバカなことをするもんじゃない」と言うんですよ。

――なるほど。

井深　どこの会社に行っても見本的なトランジスタラジオはできていた。

――量産品ではなくて実験室の試作見本ですね？

井深　そう。だけどね、どの会社も、そんなもの商品化するつもりなんか、これっぽっちもなかった。というのも理由があった。高周波に使えるトランジスタの歩留まりは限りなくゼロに近かった。これじゃ商売にも何にもならない。やれば倒産に決まってますからね。だから、そんなものを使って産業にしようなんてバカは世界中どこにもいなかった。

――バカが日本からやって来た？

井深　はい。当時WEのライセンスを取ったのがアメリカには一二社、国外に六社。私どもが七社目だったんですが、WEの人が言うには「メジャー会社がみんなラジオ用の高周波トランジスタをつくろうとして悪あがきにあがいている。でも、どこもできないでいる。それを日本の小さな会社がやろうなんてできるわけがない。悪いことは言わないからラジオはやめて補聴器にしなさい」。

――耳に聞こえる範囲の音声周波数ならトランジスタも動作するというんですね？

井深　そう。補聴器なら当時すでにレイセオンという会社が月産一五万個も製造していました。一個一五〇ドルから五〇〇ドルで飛ぶように売れていた。ところが、日本人はなぜか補聴器を使いたがらない。それより私はラジオが本命だと感じた。当時は真空管を使った電池式ポータブルラジオが大変な勢いで流行っていましたから。トランジスタで商品をつくるならポータブルラジオだと思っていました。少し高くてもね。この「少し高くても」というところがミソなんでしょうね。ですから、私は断固トランジスタラジオを商品化しよう

と考えたのです。

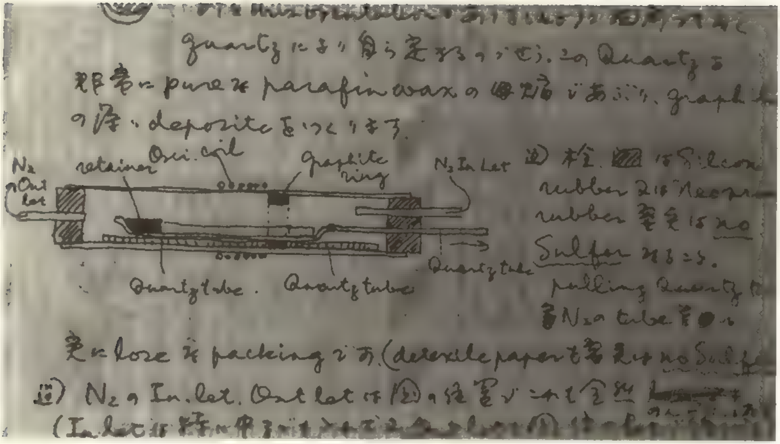
■ 一年でアメリカに追いつける！

塚本さんたちがトランジスタの研究開発をしている間、岩間取締役がアメリカを視察している。昭和二九年一月下旬から約二か月余り、WE社をはじめ主要な会社をほとんど見て歩くのである。すでに何度も触れてきたように、WE社は製造ノウハウは一切売らなかった。したがって生産ラインに使うさまざまな装置は自分で自主開発するか、あるいは情報を集めて同じようなものをつくるしかなかったのである。渡航の目的は情報の収集であった。

WE社をはじめ、どの会社も好意的に迎えてくれたが、ノートに記録することと写真撮影が禁じられていたため、すべてを頭に刻んでホテルに帰り、記憶を復元し、東京本社に書き送った。それを開発グループは岩間レポートとして待ちこがれた。

最初の通信は昭和二九年一月二三日の夜に書き、二九日に東京に届いた。

「昨夜六時半、電文通りニューヨークに着きました。飛行機が予定より難渋をきわめ、ウエーキ島、アンカレッジ、シアトル、ミルウォーキー、デトロイトと離着陸を繰り返し最後にニューヨークのアイドル・ワイルド空港に着きました。シアトルでは飛行場の状態が悪くタコマの軍用基地に着陸し、そこから税関手続きのためバスでシアトル国際空港まで往復しました。雨のため、ここに午後一〇時から翌朝四時まで六時間も止めおかれましたが、おかげでタコマの街をバスから見学することができました」



岩間レポートの一ページ

現在のジェット機時代と異なり、極東の日本からアメリカの東海岸に行くには、大変な難行苦行をしなければならなかった。会社の命運を担って太平洋を渡った岩間取締役は、この文面の最後でこう締めくくっている。「室代は一番安い一泊三ドル五〇セントにしました。少々設備が行き届いていませんが安いので当分ここで辛抱するつもりです」

この通信を皮切りに、全部で七回四八枚の報告書を送るのである。

二月一〇日の通信では具体的に「六月には月産一〇〇個、七月一〇〇〇〇個と決めて進められたし」と生産目標を掲げた上で「今こそ技術者自らが現場に立ち、あらゆる条件を頭に入れ、しかも入念に記録をとり、着実に進めれば必ず道は開けます」と檄を飛ばし、最後に「うちの方針！」と五点について簡潔に述べている。

○大至急、ゾーン・リファイニング装置と単結晶の引き上げ装置をつくられたし。

○引き上げ炉の製作は現用の炉以外は全部中止

されたし。

○当面、PNP構造の合金拡散タイプのみの生産を第一目標とされたし。

○成長型については多少性能はよいが生産はあきらめたほうがよい。

○シリコンについては最大の関心を持たれたし。

そして再び「今こそわれわれだけの力で充分やれるときです。われわれにやれないところは何もないはずです」と決意を表明する。

やがて、東京技術陣が取り組むべき装置の概要を次々と書き送る。そこには驚くほどディテールに富んだ図面が描き込まれていた。たとえば、結晶の超高純度精錬のためのゾーン・リファイニング装置、単結晶引き上げ装置など写真で見る通り、いかにも技術者らしい念の入ったスケッチである。そして的確に「これがポイント」と厳守すべき要点を指示している。

単結晶の引き上げ装置の解説では「この装置は前から稼働状態を見せてくれと頼んでいたのですが、なんとかかんとか言って実現できず、抽象的なことしかわかりません」と不満気である。親切なWE社も、さすがにいちばん重要な部分は見せることを逡巡したらしい。

三月二六日の通信では「ジャック・スカッフ博士にやっと会え、二、三の質問ができました（中略）。とにかくスカッフ博士に会うことができて大変うれしく思いました」。結晶の世界的権威で『トランジスタ・テクノロジー』の編集責任者の一人に会えた感激が伝わってくる。文面に並んでいる多くの数字は、おそらくスカッフから聞いたさまざまな係数に違いない。

旅も終わりに近い三月一九日付の通信では「トランジスタ・テクノロジーで勉強した私たちの知識では考えられないような新技術などどこにもありませんでした。アメリカではこの一年間の進歩が停

滞していることになります。当社が現在のアメリカの水準に達するに要する時間は、ここ一年くらいで充分可能だと思われます。(中略)。当社はこのアメリカの現状まで持っていくまでは遮二無二突進したいものだと思います」と自信たっぷりである。

ただ注目すべきは、成長型トランジスタを選択すべきか、あるいは合金拡散型トランジスタを選択すべきか決心がついていない。二月一〇日の通信では成長型はあきらめようと言いながら、結局最後には成長型の製造を決意するのだが、旅の期間中はどちらとも決心がつかぬままに帰国するのである。

一〇〇個つくって九九個捨てる

岩間レポートを受け取った技術陣は、一斉に走りだす。しかし、東京通信工業には道具も装置もほとんど何もなかった。当時あった機械といえば旋盤が二台、ボール盤一台、フライス盤一台の計四台。これに中古の機械屋で雨ざらしになって赤サビが吹き出ていたのを買ってきたスライス盤が一台。こうして、工場としてはゼロの状態から自作の装置をつくり上げていく。

一つの新製品を世に送り出すとき、普通は研究、実験、試作を充分に繰り返し、生産歩留まりが充分上がったところで量産に入り、販売を開始するものである。ところが、東通工の技術陣はこの常識を踏襲しなかった。試作研究期間なしでいきなり生産に入っていくのである。というよりも、生産が即研究開発だったというほうが当たっている。生産と開発の間の境目がない。

塚本　アハハハ、試作実験などしませんでしたよ。最初から生産設備をつくったんです。

――えっ、試作開発も何もしないで、いきなりぶっつけ本番ですか?

塚本 そんなにリスキーだなんて思いませんでしたよ。人ができるんだから自分たちもできるだろうと。

――楽観的というか、極楽トンボというか？

塚本 ええ、そう言われてもしようがないですね。

――それで開発研究に着手した？

塚本 研究じゃありません。製造にとりかかったんです。

――へえ、それでトランジスタラジオができたんですか？

塚本 突撃ですよ。とにかく生産した。それでできたトランジスタの特性を一つ残らず測定して、高周波に使えそうなトランジスタを選び出しました。その割合が一〇〇個に一個の割合でした。それでも、低周波回路には合金型トランジスタを使って、高周波回路だけに成長型を使ってようやくトランジスタラジオの製品発表にこぎつけた。

――合金型の特許も買っていたのですか？

塚本 特許だけね。だけどノウハウなしでしたので、これは手探りでつくりましたが、初期の合金型は成長型よりもっと高周波特性が悪かったのです。ですから、低周波回路専用にしました。

視察旅行中は合金型と成長型の間を揺れていた岩間取締役も、帰国と同時に成長型トランジスタの製造を決断する。治具の無数の穴に一つ一つインジウムの粒を入れてつくる合金型より、一回の単結晶引き上げで沢山のトランジスタをつくれる成長型のほうが量産に向いている。また、合金型ではサンドイッチ構造の中間層を薄くつくるのが難しく、できたトランジスタは高周波特性が悪くてラジオ

には向かない、岩間取締役はこうした点を配慮して結局、成長型を選択したというのである。

塚本　ラジオに組み込んで沢山売ろうとするわけですから、岩間さんは成長型のほうが量産向きだと判断したんだと思いますが。

――本当に量産性がよかったんですか？

塚本　と－んでもない。

――そりゃ一大事ですね？

塚本　そうですよ。歩留まり地獄でした。というのも、昭和三〇年から発売したラジオが翌三一年には大ブームになりまして。なにしろ電池代がかからないというんで、爆発的に売れたんですね。まさにトランジスタ時代の幕開きだったんですが、さあ大変、工場ではトランジスタの生産が追いつかない。なにしろ一〇〇個つくっても九九個は特性が悪すぎて捨てるわけですから。

――なるほど。

塚本　なにしろ高周波特性の劣悪さについてはベル研お墨付きですから、辛うじてラジオに使えるものを選んでも、特性にかなりのバラツキがあった。それを承知でラジオに組み入れたんですが、そうなると今度はラジオ工場がバンザイした。トランジスタに合わせて、ラジオ一個一個の回路修正をしなければならなくなったんです。回路を検討し対応する部品を変えるといった、大変わずらわしい作業をしなければいけなくなった。トランジスタの特性がすべて均一なら決められた通りの部品を組み立てるだけですむんですが、特性が不揃いなために結局ラジオ一個一個が手づくりになってしまったんです。ですから、ラジオの

組み立て工場がてんやわんやの大騒ぎ。

――量産向きだと思って採用した成長型だったが、特性のバラツキゆえに量産ラインが手づくりになってしまった。

塚本 その通り。そこで部内では、成長型トランジスタを放棄してRCAの合金型に変更するべきだという議論が起きたんです。その頃になるとアロイ(合金)型の高周波特性がかなり改善されてきまして、アロイ型への変更も考えられないことではなかったんですね。

――経営決断ですね？

塚本 結局、井深さんや岩間さんは成長型を捨てなかった。再び独自で技術改良を目指すことになったんです。

――RCAの軍門に下るのが悔しかった？

塚本 それと、零細な駆け出し企業だから、さらなる出費に耐えられなかったか。あるいは苦しんでも独自技術を身につけなければいけないと考えたか。多分その両方だと思いますね。

一回の結晶引き上げで多量のトランジスタができるはずであったが、そうは簡単にいかなかった。ラジオに使えそうなトランジスタを厳密に選ぶとほとんどが不合格になり、生産歩留まりはゼロ。回路や他の部品を工夫することで辛うじて使えるものを選んだが、特性がバラバラで生産分布に中心部分がない。結局、ラジオの製造部門がそのしわ寄せを一身に受けることになった。トランジスタの特性別に一二種類の回路と部品を用意して相性を一致させた。したがって、ラジオ製造は量産からほど遠い事実上の手づくりとなったのである。

こうして発売にこぎつけたのが、日本最初のトランジスタラジオTR55であった。

「ラジオはもはや、電源コード付きの時代ではありません。御家庭のラジオも全てTRとなるべきです。皆様のお好みの場所に、TRはお供することができます」とカタログがうたった通り、電池が長持ちするポケットラジオは若者のパーソナルラジオとして爆発的に売れ始めた。当時ラジオの普及率は全世帯の七四パーセントといわれ、世帯商品としては普及の限界に達しつつあった。しかし、パーソナル商品としてのラジオはまったく未開拓の分野だったのである。発売以来、日を追って急増する売れ行きにトランジスタの製造が間に合わない。最初は劣悪だった合金型の高周波特性が急速に改善されつつあった。そこで、成長型をあきらめてRCAと合金型トランジスタのノウハウ契約をするべきだという声も上がった。

■ 危機を救った一人の女子従業員

しかし、経営陣は成長型を断念しなかった。そのへんの心境を井深さんに聞いてみたが「成長型をやめるなどといった意見がありましたかなあ」と、成長型断念の空気があったことすら記憶にない。それどころか、会社の危機を救ってくれたのは、単結晶炉を操作していた一人の女子従業員の執念だったと言うのである。

井深　当時、結晶引き上げのオペレーターはうちの場合は中学校出の女性でした。クリスタル・コントロールは全部マニュアルでしたからね。ところが彼女、自分のやった仕事に大変厳しい人でね、自分がこしらえたクリスタルを最後の製品になるまで追跡したんですね。自分のつくったクリスタルがどう使われ、性能の良否はどうか、使える良品の歩留まりはど

うか。

――結晶炉の係員が？

井深 そう。当時わが社は朝五時から工場が始まって、午前班、午後班と二交代で働いていたんです。午前班は午後から高等学校の勉強をするし、午後班は午前中に勉強するといったサイクルでしたが、彼女はそれを無視して自分のつくったクリスタルを追跡したんです。

――何のために？

井深 自分のつくったクリスタルがよいのか悪いのか、製品の良否は工程のどこと因果関係があるのかをつきとめようとしたんですね。

――エンジニアでもない一介のトランジスタガールがですか？

井深 そうです。一昨日つくったのは良品が多かった。昨日つくったのは悪かった。一体何がどう違っているのかをつきとめようと彼女は考えたんですね。彼女は最初の製品の良否はクリスタル製造のあとの加工工程に欠陥があるに違いないと考えて追跡を始めたんですが、データが集まってみると原因はどうもクリスタルそのものにあるらしいと感じるようになったんですね。

――へえ。

井深 現場の技術者たちも最初は彼女の意見を軽く受け流していたんですが、ある日彼女のアドバイス通りやってみると、数パーセントの歩留まりが一挙に二〇パーセント近くまで上がったんですね。これが製品良否と結晶製造の因果関係を調べるきっかけになったのです。

――初耳ですね、その話は。

井深　当時私は、これはよいエピソードだから外部に紹介しようと思ったんですが、とんでもない、これはトップシークレットだからと口外無用を言い渡されたんで、今まで黙っていたんです。

製造ラインの末端を支える従業員の観察力や洞察力が目を見張るような改善につながった例は、日本の工場では珍しくない。マニュアル通りに作業すればよしとするアメリカの従業員と、日々の仕事は少しでも改善しようと努める日本の作業員。両者の違いを物語るには格好のエピソードである。しかし、経営のトップから製造ラインの末端に至るまで、工業生産における品質をいかに管理すべきか、その理念と方法を教えてくれたのはエドワード・デミング博士をはじめとするアメリカの品質管理の専門家たちであった。

戦後日本の産業界にはデミング博士の統計的品質管理手法が広く普及し、日本製品の品質向上に大きく貢献した。したがって、不良品の発生を統計的に分析し、生産歩留まり向上のための鍵を見いだすという品質管理の手法は、産業技術に携わるエンジニアにとってはしごく普通の行動であった。

結晶引き上げ担当の女子従業員が身をもって実践し、実証した試みがきっかけとなって、エンジニアたちは結晶工程と不良品の相関関係を洗い出す全数調査を開始した。

塚本　ある時期以後に製造したすべてのトランジスタについて、製造工程を精密に記録しました。結晶引き上げ工程、不純物の添加、ウエハー切り出し、トランジスタへの切り出し、電極取り付け、特性測定、組み立て、ラジオとしての性能評価。すべてのトランジスタに番号をつけ、全トランジスタの製造条件が結晶引き上げのときから製品になるまで把握できる体制にしたのです。抜き取り検査ではなく、全製品の追跡調査でした。

——何を全数追跡したのですか？

塚本 結晶断面を確認した上で、その結晶からできたトランジスタの特性を一個一個測ったのです。

——両者の間に因果関係がないかを調べるために？

塚本 そうです。不良品について一個一個ベース（P型層）抵抗を計測してみると、どれも共通して抵抗値が異常に高い。今度はそうしたトランジスタの結晶製造過程の記録と照合検討してみると、結晶断面のP型層の形状がデコボコだったり、層が消えかかっていたりする結晶に多い。

——結晶断面のP型層が肉眼で識別できるほど浮き出るんですか？

塚本 ウエハーを薬品処理するとP型層が浮き出るんです。薬品で処理してウエハーを調べてみると、P型層がデコボコしていたり、消えかかっているウエハーからできたトランジスタに限って特性が悪い。そこで問題は、P型層をつくる工程以後だろうと考えたのです。

——どんな推理をしたんですか？

塚本 せっかくできたP型層が、次の工程で侵されたんだと考えました。

——どんな仮説ですか？

塚本 ガリウムを添加してP型層を成長させたあと、今度はアンチモンを添加してP型層の下にN型層を成長させるんですが、どうもこの工程に問題がありそうだ。せっかくできているP型薄膜層にあとから入れるアンチモンが拡散浸透しているらしい。だから、せっかく形成したP型層の性質が変わってしまい、ベースとしての役割を果たしてないのではないか。

――まったくの仮説だったわけですね？

塚本　そうです。だから、仮説が当たっているなら解決の方法はある。アンチモンという物質が非常に拡散浸透しやすい物質なので、できたばかりのP型層に拡散して駄目にしてしまうんだろう。それならアンチモンの代わりにもっと拡散度の低い物質、拡散係数の低い物質を使えばよい、こう考えたんです。

――何ですか、その物質は？

塚本　リンです。リンは周期律表の上でアンチモンと同じところに所属する物質ですからね。ところが異論が出た。ベル研のデータによれば、アンチモンとリンは拡散係数が同じだというんです。

――それでも、やった？

塚本　そうですよ、それしか道がないんですから。町でリンを買ってきてやりましたよ。やってみると、今度はP型層がやけに広くなりすぎて全部オシャカになってしまったんです。

――オシャカになったって、それをやったのは実験炉じゃないですよね。

塚本　そうですよ、生産中の設備を使ってやったんですよ。

――いやあ、まったく綱渡りだ。

塚本　はい、会社の命運をかけて綱渡りしたんですよ。

――その綱渡りに失敗したんですから、いよいよ倒産ですね、東通工も。

塚本　それがですね、このときはしめたと思いましたよ。

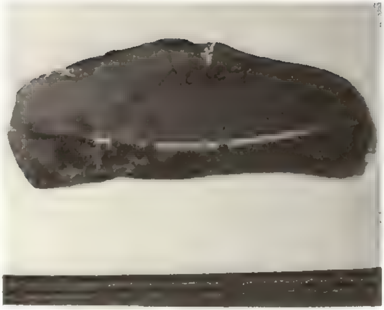
――えっ、全部がオシャカになっても？

塚本　はい。しめたと思いましてね。P型層への拡散浸透がリンのドーピング（添加）で止まったわけですから。

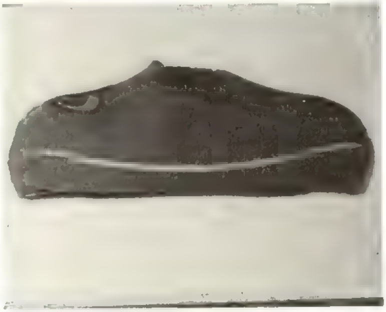
――結晶断面を薬品処理してみたんですか？

塚本　ええ。すると、P型層がきれいに、デコボコにもならず、消えることなく、くっきりと出た。ただP型層の幅が広すぎた。これならリンの投入を早めてガリウムの成長時間を短くすれば、P型層を正確に幅狭くすることは可能だ。こう考えたんですね。

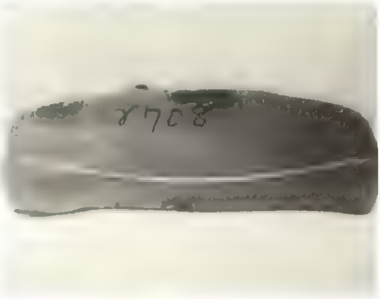
塚本さんが今でも大切に持っている三枚の結晶断面写真がある。いずれも、薬品処理でP型層が白く浮き出るように加工されている。写真Aは、真ん中のP型層が黒い染みで消えかかっている。つまり、ガリウム投入後すばやく添加したアンチモン（N型伝導物質）が、せっかくできたガリウム層に食



A　P型層が侵食されて消えかかっている（失敗例）



B　P型層はくっきり出ているが、幅が広すぎる（失敗例）



C　幅の狭いP型層がくっきり出ている（成功）

い込み侵している。これではP型層がないも同然でトランジスタにならない。

写真Bは、アンチモンの代わりにリン（N型伝導物質）をスズとの合金にして投入したときの結晶断面である。P型層は太いがくっきりしており、リンの侵食現象がない。ただこれではP型層の幅が広すぎてトランジスタにはならないが、その幅はリン投入のタイミングを早めれば狭くすることができる。

写真Cは、最終的な成功例。幅の狭いP型層がくっきりと、何ものにも侵されることなくできている。高周波特性が一桁上がって、かつ生産歩留まりが劇的に向上した結晶の断面であった。しかし、これができるまでにはまだいくつもの難関が待ち受けていた。

■「行け行けどんどん」で工場は全滅

――今度はリンの早期投入をやってみた？

塚本　もちろんです。

――どうでした？

塚本　大成功ですよ。それこそ完璧なP型層ができまして、特性を測ってみると高周波特性が一桁以上も上がりましてね、ラジオ用には充分以上の特性になったんです。

――万歳ですね？

塚本　私はできたたと特性表を見せに岩間さんの所に駆け上がりました。すると岩間さんも飛び上がらんばかりに喜んで、「行け行け」と叫ぶんですね。そこで私もさっそく前後の見

境もなく、リンのドーピングを実施に移したんです。

――これで万事メデタシ？

塚本　ところがどっこい、そうはいかなかったんです。

――何が起きたんですか？

塚本　ラインが全滅して、ラジオの出荷が止まってしまったんです。

――いつ頃ですか？

塚本　昭和三二年四月のことでした。

工場全滅の原因はこうである。リンという物質は非常に不安定な物質であった。空気中に置いておくと、すぐに蒸発してしまう。だから、リンだけを炉に入れようとしても、高熱炉の中では落下する途中で一瞬に消滅する。そこで、何か別の物質と合金の状態にして添加してやることになるのだが、最初はスズとの合金にして投入した。ところが、リンがあまりに不安定すぎて、リンの投入量が、一定しなかった。そのためリンが多すぎたり、少なすぎたりして添加量を精密にコントロールできなかったのである。つくる度に合金の中のスズとリンの比率が違ってしまう。だから、このくらいだろうと思って投入した合金の中に多量のリンが入っていた。失敗の原因はこのリンの多量ドーピングにあった。つまり、リンのヘビー・ドーピングをしてしまったのである。

塚本　不幸にも全部のラインに同じことを実施しましたので、工場全滅でした。

――それほど自信があったんですね。

塚本　そうです。絶対の自信を持って全部の単結晶引き上げ装置に同じものを投入してしまったんです。しかも、トランジスタにしてみるまで欠陥に気がつきませんでしたので、大変な

事態になってしまいました。

――事前に予想がつかなかったんですか？

塚本　結晶を引き上げたときはいいように見えたんで、そのままトランジスタにしちゃったんです。本当なら結晶を引き上げたときに一個切断してウエハーを取り、その特性を測ってみれば、もう少しケガが小さくてすんだのですが、確認をとらないままに「それ行けどんどん」と実施に移してしまったんです。ですから、トランジスタにしてみて初めてまったく動作せずということがわかったんです。

――さあ、絶体絶命ですね。

塚本　絶体絶命ですよ。「塚本君、君は会社をつぶすつもりか」と井深社長に言われましてね。

――どうしました？

塚本　こうなりゃ、あわててもしようがないですから、くそ度胸ですよ。一つ一つ点検していく以外にないんですから。

――再び統計的品質管理の手法ですか？

塚本　そうです。工程の徹底的な点検ですよ。

――わかったことは？

塚本　原因はリンのヘビー・ドーピングらしいと判明しました。それで今度は、それならリンの適性濃度をどれくらいにすれば適性P型層になるかを徹底的に追求しようということになりました。

――なるほど、絶望するのはまだ早かったわけですね。

塚本　そうですよ。大勢の生活がかかっているんですから。それで、リンの適性ドーピングの研究に全社あげて集中することになったんです。その仕事に参加したのが江崎玲於奈さんでした。

――あのノーベル賞受賞者の？

塚本　そうです。

――江崎さんはどんな研究をなさったんですか？

塚本　問題の所在はガリウムのドーピングによるP型層と、リンのドーピングによるN型層、つまりPN接合部の問題ですから、ガリウム層とリン層の間の「PN接合部分」の研究をしたんですね。

――それじゃダイオードの研究ですね？

塚本　その通りです。

不良品の山と江崎博士の大発見

ガリウム（P型伝導物質）とリン（N型伝導物質）でPN領域が隣接するダイオードが沢山つくられた。リンの濃度が薄いものから濃いものまで、リンの濃度別試料を用意し、その電気的な特性を順次測定していったのである。いちばん特性の優れたリン濃度を割り出すための基礎調査であった。これを担当したのが江崎玲於奈さんであったという。

そんなあるとき、東京理科大学から卒業実習に来ていた鈴木隆さんが異常現象に遭遇したのである。

あるリン濃度のダイオードを測定したとき、それまでの方向とは逆向きに電流が流れた。それまでは電圧を増やしていくと電流も増えていったものが、このダイオードだけは電圧を増やし始めたら電流が減り始めたのである。

塚本　これは変な現象だと思った鈴木君が、これを江崎さんに伝えたんです。最初は、そんなはずはないと江崎さんも半信半疑だったんですが、そのうち、こりゃトンネル現象だと叫んだんです。それからの江崎さんはもう仕事が手につかんのですよ、本来業務なんか上の空でした。トンネル・ダイオードを発見したとかで興奮していました。

――あちらノーベル賞、こちら不良品の山。

塚本　こちらは逆にエサキ・ダイオードができるのをいかにして防ぐか、その方法をひたすら探したわけですから。

――トンネル現象って何ですか?

塚本　電子は粒子ですから、通常は接合の壁を突き抜けることはありえないんですが、接合の壁が非常に狭くなると電子は突き抜けてしまう。いくら壁が狭くても電子が粒子であると解釈するかぎり、この現象は説明できない。ところが、電子にも波動性があるという仮説に立てば、この現象は説明できる。逆に言えば、非常に狭い壁を電子が突き抜ければ、つまり電流が通れば、電子に波動性があるという証明になる。この証明は量子力学上の大発見でした。だから、その証明をしようと世界の物理学者が必死になっていた、そんな時代だったのです。

――そのこととヘビー・ドーピングとどんな関係があったんですか?

塚本　結晶を成長させながら、エミッタ側にリンのヘビー・ドーピングをしてみたら、かつては絶対にできなかったP型層の薄い接合が可能になった。つまり、ベース層（P型層）がかつてないほど薄くなった。だからこそ高周波特性が格段によくなったんですが、工場全滅のときの結晶はP型層が薄くなりすぎたために、電子が波動現象でトンネルを通るようにP型層を通過して短絡してしまった。だから、P型層がベース層本来の役目を果たさなくて、トランジスタとしては働かなかったんです。

――すると「トンネルができないようなリン濃度」を探っていたんですね、皆さんは？

塚本　はい、私たちは技術者ですから。会社の一大事を救うために。

――しかし、ここに偉大な科学者がいて、物理学の先端的な問題意識で、不思議な現象の本質を見破った？

塚本　はい。それが江崎さんでした。

リンの適正投入量が割り出されると、あとはどのような方法で適正に投入するかが問題になった。リンとスズの合金ではリンが不安定すぎて、合金の重さを計っただけではリンの投入量が精密に制御できなかった。そこで、リンとインジウムを一対一の割合で化合させて、インジウム・リンという化合物半導体の状態にして添加した。こうすることでインジウムの重さを計るだけでリン添加量を精密にコントロールできたのである。

――必要なものはリンであって、インジウムなど不要物はドーピングに悪い影響を及ぼさないんですか？

塚本　そこがミソで、インジウム・リンをドーピングしてやると、インジウムは結晶として上が

らないではじき出されて消えてなくなり、リンだけがドーピングされるというわけです。重量を計るにはインジウムは重いので都合がいいし、ドーピングのあとには消えてなくなるしで、まったく好都合な物質でした。

——インジウムとリンの化合物はどうやってつくったのですか。

塚本 小さなルツボにリンとインジウムを入れて電熱器で加熱しただけです。

——今度はうまくいきましたか？

塚本 インジウム・リンでドーピングしてみるとドンピシャリとうまくいきまして、なんと高周波特性のよいトランジスタが歩留まり九〇数パーセントでできたんです。それまでが歩留まり一〇パーセントまで行かなかったんですから、驚異的な結果でした。

——今度こそ万歳ですね？

塚本 はい。あっという間にラジオ生産は軌道に乗るし、もう一つ大事なことは、この技術ができたおかげでＲＣＡに特許料を払う必要がなくなりました。

——ああ、ＲＣＡの合金型をやめて全部成長型に変えたんですね？

塚本 そうです。一部低周波回路には合金型を使ったのですが、私たちの発明で全部を成長型に変えましたので、特許料はベル研究所に対する基本特許だけですんだのです。なにしろ、歩留まりも特性もＲＣＡの合金型をはるかにしのぐものができたんですから。しかも、製造特許は私たち独自のものですから、これも特許料を払う必要がなくなりました。

——ベル研もびっくりでしょうね？

塚本 実際、私はこれを持ってベル研に見せに行ったんですよ。

――そしたら？

塚本　「これが私たちのつくった成長型トランジスタですが、高周波特性はカクカクです」と言って見せたんです。ところが、だれも信用しないんです。そこで、実際に彼らに測定してもらったんですが、それから大騒ぎになりました。今度は製造法を詳しく説明させられました。

――ベル研をしのいだ大発見を当然論文に発表して男を上げたんでしょうね？

塚本　とんでもない。ソニーはこれを社内機密にして外には出しませんでした。ベル研だけは先生だから実物を持っていったんですが、国内のメーカーに対しては極秘扱いで絶対知られないようにしました。ですから、論文を応用物理学会誌に発表したのもずっとあとで、技術が陳腐化してからでした。昭和三七年のことです。ですから、江崎ダイオードのときも発見のてん末は一切抜きで、ただ理論としてのみ発表されたわけです。江崎さんも絶対言いませんでしたね。

――しかし、実は会社が生きるか死ぬかという瀬戸際だった。

塚本　そうなんです。

――江崎さんはどう思っていたんでしょう。

塚本　ご自分ではベル研の研究を正統的に受け継いで研究した成果であると信じていたようでしたね。実はベル研が研究した方法はこんなへビー・ドープなど考えてもいなかったんですよ。普通のドーピングで接合トランジスタをつくり、極低温でトンネル現象を出そうと試みていたんです。江崎さんもそのやり方を踏襲していましたから、多分へビー・ドーピン

グという出来事がなかったら、トンネル効果に遭遇したかどうかはわかりませんね。

――なるほど。

塚本 しかし、あるとき、岩間さんが私たちの前で「ヘビー・ドーピングこそがトンネル効果の発見のきっかけだったね」と言ったことがあったんですが、江崎さんは否定もしませんでしたが、けっして肯定もしませんでした。

■ロックのリズムに乗って世界企業へ

「君は会社をつぶす気か」と井深社長に叱責されどたん場まで追いつめられた塚本さん、そうした環境の中で大発見をものした江崎さん、世界企業への手がかりをつかんだ井深さん。東京通信工業の危機は、それぞれの人生にとっても最大の転機だったに違いない。

井深 私はこの体験のおかげで、歩留まりが低いということを少しも恐れなくなりましたね。歩留まりが低いということは、それを高くすれば莫大な儲けにつながると思うようになりましたね。歩留まりが低いものほどおもしろい、宝の山だと。何か欠陥があって歩留まりを低くしているんだから、それさえ探して解決すればガバーッと儲かるもんだという信念を持つようになりましたね。

――ガバーッと大儲け。

井深 だってね、一〇〇個こしらえて九九個オシャカだったんですから、当時のグロウン(成長)型は。そんなものでラジオをつくろうなんて正気の沙汰じゃありませんよね。だれもが歩留まりの低さに恐れをなしてやろうとしなかったのを、私なんか無知だから、それをあえ

てやっちゃったというところに、今日ソニーが存在するゆえんがあるんでしょうねえ。

——ごもっとも。

こうして、東京通信工業は優れたトランジスタを搭載したポケットラジオを武器に、市場を席巻するのである。マンボが爆発的に流行し、太陽族が若者たちの先端風俗であった。ラジオはその前で家族が揃って聴く家具から、聴きたいときに聴きたい場所で聴くパーソナルな道具に変わっていく。やがて上陸するロックンロールのリズムに乗って、トランジスタラジオはつくるそばから飛ぶように売れたのである。これらのラジオにつけた商標「ソニー」がやがて社名になっていく。それは町工場・東京通信工業から世界企業に脱皮する瞬間であった。

東京通信工業の成功は他の大メーカーに衝撃を与えずにはおかなかった。各社が一斉にトランジスタラジオの製造に走りはじめた。しかし、高周波特性が悪く、生産歩留まりが低い合金型トランジスタに莫大な技術料を支払う企業と、特性がよく生産歩留まりも非常に高いトランジスタに基本特許料しか払う必要のなかった東京通信工業とでは、競争力に大きな差が出るのは当然の成り行きであった。東京通信工業はリン・ドーピングによる独自の成長型トランジスタの特許を申請し、特性がよく製造歩留まりが極めて高い自社開発のトランジスタを独占的に使用できたのである。

トランジスタ製造の先端を行く東京通信工業を他社が必死で追いかけた。ゲルマニウムのバケツ偏析で有名になった岩瀬新午さんは、当時、電電公社の通信研究所から三洋電機に転じ、半導体事業を軌道に乗せるために格闘していた。彼は当時を次のように回想するのである。

岩瀬　張り込みまでやりましたよ。特に結晶が命でしたから、それで先輩各社は一体どんな装置を使っているのか知りたくて。通研では私も単結晶の引き上げ装置を開発したんですが、

量産用の装置ではありませんでしたから、どうしてもライン専用の結晶引き上げ装置が必要でした。量産用の装置は各社どうしているんだろうかと疑問を持ちまして、そこで、当時先頭を切っていたソニーさんに目をつけたんですね。量産用単結晶引き上げ装置をどこからか必ず買っているはずだとにらんで、ソニーの工場の裏口で車の中から出入りする車を観察したんです。出入りする業者の中には、絶対に結晶装置のメーカーがいるはずだと考えたんです。ちょうど私は重役専用車を持っていたものですから、車の中からソニーの裏口を出入りする車をチェックしたんです。

――まるで産業スパイもどきですね？

岩瀬　アハハハハ。観察するだけで別に悪いことをしていたわけではありませんからね。

――それで何かつかめました？

岩瀬　アハハハ。駄目でした。あとから聞いたら、量産用の装置は内製していたそうです。

――では、空振りですね？

岩瀬　はい。でも当時は遅れを取り戻そうと必死だったのです。

やがて国内はトランジスタ開発競争のルツボと化した。ゲルマニウム・トランジスタの特性は年々改善され、生産歩留まりは上がり、コストが激減した。昭和三四年、日本はゲルマニウム・トランジスタの生産量では世界一にのし上がるのである。しかし、このときアメリカでは、すでにゲルマニウムからシリコンへの転換が終わっていた。

トランジスタが電子装置の小型化に有用だと考えたのは、米国防総省であった。特に空軍は、航空機やミサイルに搭載する電子機器を真空管からトランジスタに転換したいと熱望した。だが、当時の

ゲルマニウム・トランジスタは温度特性が悪く、摂氏五〇度を超えると急速に特性が劣化した。したがって、ミサイルのように内部温度が高くなる兵器には安心して使えなかった。こうした軍事的な理由と、資源としては無尽蔵に近いことから、シリコン・トランジスタが強く求められたのである。だが、シリコンは融点が高い上に、高温では非常に活性化が激しく、何とでも化合する扱いの難しい物質であった。しかし、技術者たちはこの困難を克服し、シリコン時代の幕が開く。シリコン・トランジスタが登場し、すぐに集積回路へと発展し、文字通り電気回路が石の中に入っていく。本当の意味の電子革命が始まったのである。中巻では、シリコン革命と集積回路をめぐって活躍する日米の技術者たちの姿を描いていく。

本書、取材協力者及び証言者（敬称略）

◆取材協力者

アメリカ大使館広報文化局東京アメリカンセンター
大蔵省関東財務局国有財産課
高純度シリコン四日市工場
財団法人・半導体振興会半導体研究所
住友金属鉱山国富事業所電子工場
トーケムプロダクツ秋田事業所
東北大学金属材料研究所
日本シリコン生野工場
三菱電機西条工場
三菱マテリアル
山形シリコン米沢工場

◆証言者（証言内容当時の肩書と取材時点での肩書）

井深　大（当時東京通信工業社長、ソニー名誉会長）
稲垣　勝（当時石炭総合研究所員、明治大学教授、コンサルタント）

ＡＴ＆Ｔベル研究所
エルケム・エイ・エス（ノルウェー珪石採掘精錬会社）
ゲルマニウム・パワーデバイス社
スタンフォード研究機関サーノフ研究所（元ＲＣＡ研究所）
中川靖造（「日本の半導体開発」著者）
出崎一石（財団法人・半導体振興会半導体研究所研究員）
伊藤　彰（財団法人・半導体振興会半導体研究所研究員）
倉林　徹（財団法人・半導体振興会半導体研究所研究員）
鈴木壮兵衛（財団法人・半導体振興会半導体研究所主任研究員）
増本　健（東北大学金属材料研究所長）
三浦恒雄（東北大学金属材料研究所員）

犬塚英夫（当時東芝研究員、旭ダイヤモンド工業取締役研究所長）
岩瀬新午（当時電電公社武蔵野通信研究所員、三洋電機顧問）
大野　稔（当時日立製作所中央研究所員、日立超ＬＳＩエンジニアリング代表取締役）
長船廣衛（当時日本電気研究員、アメリカＮＥＣ社長、大阪チタニウム製造顧問）
菊池　誠（当時通産省工業技術院電気試験所員、ソニー中央研究所長、ソニー技術顧問）
木村市太郎（当時丸紅飯田ニューヨーク駐在員、丸紅ハイテック・コーポレーション相談役）
鈴木政男（当時日本電気玉川事業所設備係長、九州日本電気会長、ミナミエレクトロニクス常勤監査役）
塚本哲男（当時東京通信工業研究員、ソニー学園湘北短期大学教授）
傳田精一（当時通産省工業技術院電気試験所員、コニカ常務取締役）
西澤潤一（当時東北大学電気通信研究所特別研究生、東北大学学長）
鳩山道夫（当時通産省工業技術院電気試験所田無分室物理部材料課長、ソニー中央研究所長、引退）
村岡久志（当時東芝電子事業部半導体材料課員、ピュアレックス代表取締役）
安福眞民（当時富士通信機製造、富士通代表取締役副会長）
ジョン・バーディーン（当時ベル研究所研究員、イリノイ大学名誉教授）
アディソン・ホワイト（当時ベル研究所研究員、引退）
ゴードン・ティール（当時ベル研究所研究員、テキサス・インスツルメンツ社研究所長、引退）
Ｊ・Ｂ・リトル（元ベル研究所研究員、ＩＢＭ研究員、引退）
ウィリス・アドコック（元テキサス・インスツルメンツ社研究員、現テキサス大学教授）
ジャック・キルビー（元テキサス・インスツルメンツ社研究員、現コンサルタント）
ジェームズ・アーリー（元ベル研究所、フェアチャイルド研究員、引退）
アンリ・アンダーソン（元ウエスタン・エレクトリック社技師長、引退）
ジョン・アダムス（ゲルマニウム・パワー・デバイス社副社長）

■NHKスペシャル「電子立国 日本の自叙伝」スタッフ

制作協力	NHKエンタープライズ
語り	三宅民夫
取材	行成卓巳
	伊藤 真
	古賀龍威智郎
撮影	澤中 淳
照明	坂本光正
音声	富永光幸
技術	太田 司
音響効果	斎藤 実
海外リサーチ	野口修司
アート・コーディネイト	藤田惣一郎
CG製作	岩田智佐子
科学実験	鷲塚淑子
模型製作	田中義彦
デスク	宮崎経生
制作	大井徳三
企画・構成・演出	相田 洋

編集協力	パロル社
	高木 信
	加藤デザインシステムズ
	山本嘉昭
	市村慶子
	町山悦子
写真撮影・提供	日本テキサス・インスツルメンツ
	塩谷安弘
	「電子立国 日本の自叙伝」プロジェクト
図版制作	加藤デザインシステムズ
	嶌田昭成

相田 洋（あいだ ゆたか）

1936年生まれ。60年早稲田大学法学部卒業。同年ＮＨＫ入局。ディレクターとして、「ある人生」「乗船名簿ＡＲ―29」「石油・知られざる技術帝国」「核戦争後の地球」「自動車」「電子立国・日本の自叙伝」など多くのドキュメンタリー番組を制作。イタリア賞グランプリ、テレビ大賞、芸術祭大賞など数多くの賞を受賞している。

NHK

電子立国 日本の自叙伝[上]

■発行日	1991年8月20日第1刷発行 1991年12月10日第7刷発行
■著者	相田　洋
■発行	日本放送出版協会 東京都渋谷区宇田川町41―1 郵便番号：150 電話番号：03-3464-7311 振替：東京1-49701
■印刷・製本	凸版印刷株式会社
■装幀	竹内宏一

©1991 Yutaka Aida'NHK　　Printed in Japan

ISBN4-14-008791-9 C1055

造本には充分注意しておりますが、万一落丁、乱丁本などの不良品がありましたらお取替えいたします。

NHK
電子立国　日本の自叙伝

定価各1、500円（税込）

相田　洋（NHKディレクター）

〈中巻〉

ゲルマニウムの〝熱と温度〟による性能劣化の解決策として生まれたシリコントランジスタ。それは集積回路に発展して「月旅行」にでかける。一方日本では、この高度な技術に動転していた。

（主な内容）**シリコン革命／石になった電気回路／アメリカ企業の日本進出**

〈下巻〉

アメリカで登場した集積回路ICの技術を最初に民生用に利用したのが日本。熾烈な「電卓戦争」などが日本の半導体技術を一気に飛躍させ、やがて日本の半導体産業はアメリカを凌駕する。

（主な内容）**電卓戦争／8ミリ角のコンピューター／ミクロン世界の日米戦争**

NHK 電子立国 日本の自叙伝 ■全3巻 相田 洋

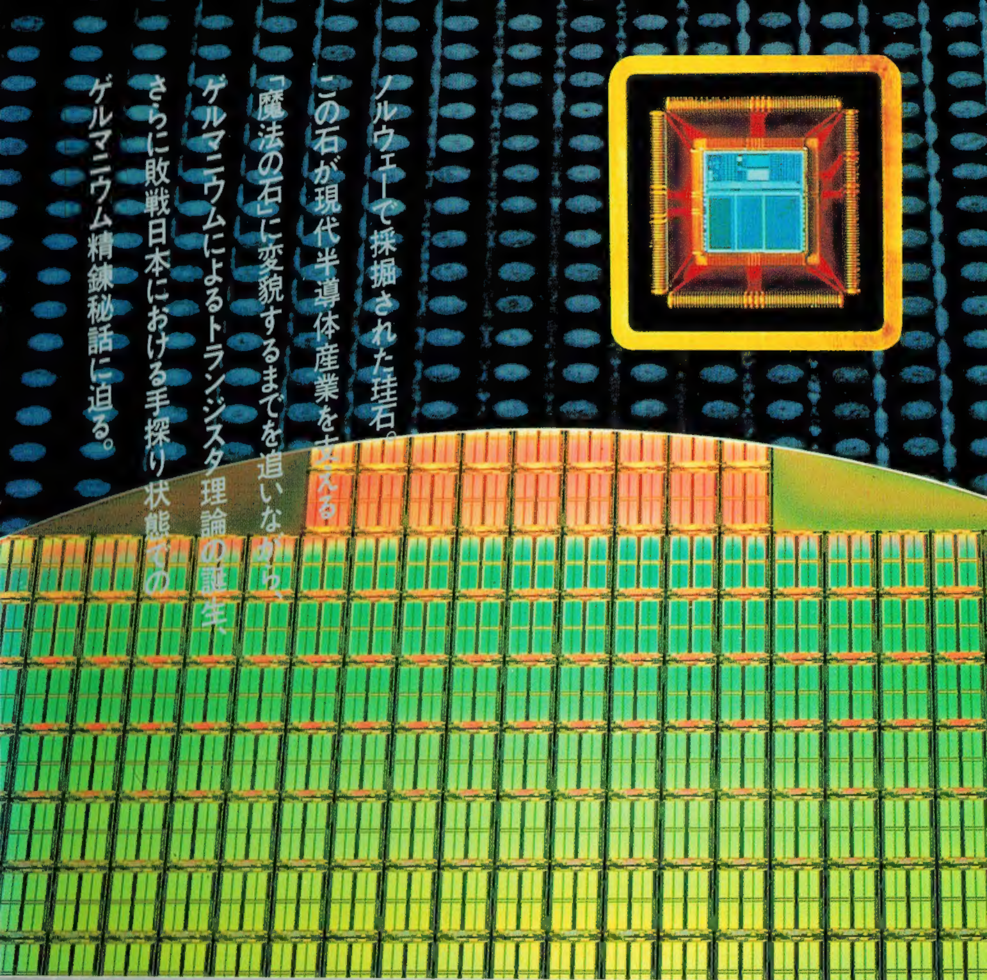
中 '91年12月発売予定

ゲルマニウムの"熱と温度"による性能劣化の
解決策として生まれたシリコントランジスタ。
トランジスタは配線とともに酸化膜の中に埋められ、
ついに集積回路に発展して「月旅行」に
でかけることになる。
一方日本では、この高度な技術に動転していた。

下 '92年2月発売予定

アメリカで登場した集積回路ICの技術を
最初に民生用に利用したのが日本。
TV、オーディオ製品など、
ICを多量に使う市場を開拓し、
日本の半導体技術を一気に飛躍させた裏には、
熾烈な「電卓戦争」があった。
やがて日本の半導体産業は、アメリカを凌駕する。

電子立国 日本の自叙伝 上



ノルウェーで採掘された珪石。
この石が現代半導体産業を支える
「魔法の石」に変貌するまでを追いながら、
ゲルマニウムによるトランジスタ理論の誕生、
さらに敗戦日本における手探り状態での
ゲルマニウム精錬秘話に迫る。

「日本は経済と技術で戦争に負けたんだから、**今度は経済と技術で勝つんだ**と。私は今の日本の繁栄はそんな気持ちで、やってきた賜物だと思っているんですよ」。それは戦前から戦後を生きた科学技術者たちの共通した感情であった。戦後の戦争を技術で勝ち抜かねばならないという、彼らの感情と意志が、戦後の産業復興の出発点になったのではないかと、私は多くのインタビューを通して感じていた。(本文より)

続刊予定 中 91年12月発売　下 '92年2月発売

ISBN4-14-008791-9 C1055 P1500E ■定価1,500円(本体1,456円)